UC-NRLF
B 4 207 896

Digitized by Google

LIBRARY
OF THE
University of California.
No. 1699
Division
Range Geology Q
Shelf
Received April, 1870.
EARTH SCIENCES LIBRARY
BERKELEY LIBRARY UNIVERSITY OF CALIFORNIA

LIBRARY
OF THE
University of California.

No. Geology 1699
Division
Range A
Shelf
Received April, 1870.

EARTH SCIENCES LIBRARY

BERKELEY LIBRARY UNIVERSITY OF CALIFORNIA

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

HISTOIRE

DES PROGRÈS

DE LA GÉOLOGIE.

Digitized by Google

Digitized by Google

HISTOIRE

DES PROGRÈS

DE LA GÉOLOGIE.

Digitized by Google

Paris. — Imprimerie de L. Martinet, rue Jacob, 30.

Digitized by Google

HISTOIRE

DES PROGRÈS

DE LA GÉOLOGIE

DE 1834 A 1845,

PAR

LE VICOMTE D'ARCHIAC:

PUBLIÉE

PAR LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE,

SOUS LES AUSPICES

DE M. LE COMTE DE SALVANDY,

MINISTRE DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE.

TOME PREMIER.

Cosmogonie et Géogénie,

Physique du Globe, Géographie physique, Terrain moderne.

PARIS.

AU LIEU DES SÉANCES DE LA SOCIÉTÉ,

RUE DU VIEUX COLOMBIER, 26.

1847.

QE11
A7
v.1

EARTH
SCIENCES
LIBRARY

Digitized by Google

cP

INTRODUCTION.

Jusque vers la fin du dernier siècle, les personnes qui s'occupaient des mêmes études pouvaient, faute de communications assez fréquentes, traiter, sans le savoir, le même sujet et le traiter de la même manière; aujourd'hui, par d'autres motifs, un semblable inconvénient est sur le point de se produire. En effet, le nombre toujours croissant des hommes qui cultivent une science, comme celui des travaux qui s'y rattachent et qui sont publiés dans les divers pays civilisés, soit isolément, soit dans des recueils périodiques ou autres, font qu'à moins de circonstances exceptionnelles il est presque impossible de se tenir au courant de tous les écrits dont cette science est l'objet. En outre, le temps employé à ce travail incessant ne permet pas toujours qu'on se livre avec suite à de nouvelles recherches, et l'on sait que, des diverses études qui ont pour but l'observation des phénomènes de la nature, la géologie est, après la chimie, celle qui, dans ces derniers temps, a produit le plus grand nombre d'ouvrages.

Cette fécondité ne résulte pas cependant d'un engouement passager ni de causes fortuites, mais elle tient à des raisons plus sérieuses, dont il suffira d'indiquer quelques unes. D'abord les bases de la géologie et la manière d'observer ne sont établies que depuis peu, et les recherches sont encore bien loin d'avoir embrassé la totalité des continents et des îles. Les observations qui restent à faire se présentent en outre à chaque pas au géologue, qui trouve toujours à glaner, même sur les points où ses devanciers plus heureux ont déjà recueilli une riche moisson.

Une seconde cause de cette abondance de publications est la variété des aspects sous lesquels l'étude de la terre peut être considérée, ainsi que ses nombreux points de contact avec

les autres sciences, telles que l'astronomie, la physique, la chimie, la minéralogie, la météorologie, la géographie, l'hydrographie, la zoologie et la botanique, qui lui apportent chacune le tribut de leurs résultats les plus précis; car la géologie, dans sa véritable et sa plus large acception, s'étend à toutes les branches de nos connaissances qui s'occupent des corps organiques et inorganiques; elle est comme une vaste synthèse où viennent se réfléchir à la fois l'histoire de la vie à la surface du globe et l'histoire de ses révolutions physiques.

Enfin il faut mentionner surtout l'utilité pratique que l'on peut en retirer pour les progrès et les perfectionnements de beaucoup d'arts et d'industries, ainsi que pour la réussite d'entreprises importantes où se trouvent engagés des capitaux considérables. Ces divers motifs, joints à l'intérêt propre qui doit s'attacher à la connaissance du sol que nous habitons et dont nous tirons nos moyens d'existence et la plupart de nos richesses, expliquent assez le grand accroissement qu'a pris la géologie depuis vingt-cinq à trente ans.

Les fondateurs de la Société géologique avaient bien prévu les inconvénients que nous avons signalés plus haut; aussi l'article 10 du chapitre II du règlement primitif avait-il prescrit que des *Résumés* seraient insérés chaque année au *Bulletin*, afin que celui-ci pût offrir un exposé complet de tout ce qui se publiait, de la marche progressive des idées et de l'indication des principaux faits récemment décrits. Les ouvrages imprimés en dehors de la Société et surtout à l'étranger, pendant les années 1830, 31, 32 et 33, furent successivement analysés et résumés par M. A. Boué, tandis que MM. J. Desnoyers, Boblaye et Rozet donnèrent l'exposé des travaux particuliers de la Société pendant les années 1831, 32, 33 et 34.

Le *Résumé des progrès des sciences géologiques pendant l'année* 1833, dû à M. Boué (vol. V du *Bulletin*), par la quantité des documents qu'il renferme, la variété et l'étendue des connaissances dont y fit preuve notre savant confrère, semble avoir intimidé ceux qui, après lui, devaient remplir cette tâche, et neuf années s'écoulèrent sans que le règlement fût exécuté à cet égard. La table raisonnée des matières, que M. Clément

Digitized by Google

Mullet joignait alors à chaque volume du *Bulletin*, suppléant en quelque sorte au *Résumé des travaux de la Société*, nous pensâmes qu'il serait possible de réduire le cadre que M. Boué avait choisi et si heureusement rempli, et que, tout en restant bien loin de notre devancier, nous pourrions présenter encore à nos confrères un tableau assez étendu des progrès de la géologie pour qu'il ne fût pas sans quelque utilité.

Une décision prise par le Conseil, au mois de mars 1842, nous autorisa à commencer ce travail, d'après le plan que nous avions proposé, et pour les neuf années de 1834 à 1842; mais diverses circonstances en ayant retardé la publication, on jugea nécessaire d'étendre jusqu'à 1845 la période qu'il devait embrasser (1). Les *Notices bibliographiques* faites, à partir de cette époque, par MM. les Secrétaires, et jointes au *Bulletin* à la fin de chaque année, continueront désormais cette série de documents non interrompue depuis 1830 et répondront ainsi au vœu des fondateurs et aux besoins de la science.

Cependant l'extension qu'avaient prise les publications de la Société, extension en rapport avec l'accroissement de ses membres et le développement de la géologie, ne lui permettait pas de subvenir, avec ses seules ressources, aux frais d'impression de l'ouvrage pour qu'il pût être donné à chaque membre, comme l'avaient été les *Résumés* des premières années; en conséquence, la demande motivée d'une allocation spéciale pour couvrir une partie de cet excédant de dépense fut adressée à M. le ministre de l'Instruction publique.

M. le comte de Salvandy, dont le zèle éclairé ne laisse échapper aucune occasion d'encourager les sciences et les compagnies savantes qui dépendent de son ministère, en témoignant à la Société tout l'intérêt qu'il prenait à ses travaux, a bien voulu lui accorder une première allocation sur le buget de 1847, et lui promettre de la continuer sur les budgets ultérieurs, autant que les fonds votés annuellement par les Chambres lui en donneront

(1) Nous mentionnerons en outre les ouvrages publiés depuis 1845 et qui viendront à notre connaissance pendant le cours de l'impression.

Digitized by Google

la faculté. Il nous a, de plus, autorisé à faire paraître ce livre sous ses auspices, en même temps que sous ceux de la Société géologique de France, et le seul désir que nous ayons à exprimer ici, c'est qu'aux yeux du lecteur ce double et puissant patronage soit suffisamment justifié.

« C'est un service à rendre aux hommes, a dit Geoffroy St-Hi-
» laire, que de s'arrêter de temps en temps au milieu du mou-
» vement qui les entraîne dans la voie d'un progrès incessant,
» pour en venir calculer l'influence ; car c'est indiquer les traces
» de la route scientifique, c'est apprécier la valeur des âges de
» la civilisation, que de chercher à rendre compte, dans de cer-
» taines époques, de notre avoir intellectuel, au fur et à mesure
» qu'il est nettement acquis au domaine de l'esprit humain (1). »

Ces paroles, que l'illustre académicien prononçait en analysant les œuvres de Goëthe, qui jeta aussi dans les sciences naturelles les pensées philosophiques les plus ingénieuses, peuvent mieux qu'aucune autre faire connaître le but que nous nous sommes efforcé d'atteindre. Le laps de douze années que comprend notre travail permet de le regarder, non seulement comme représentant *douze résumés annuels*, mais encore comme un jalon placé en quelque sorte dans l'histoire générale de la géologie, et en-deçà comme au-delà duquel il sera facile de coordonner plus tard le passé avec l'avenir ; c'est une phase de la science qui nous paraît devoir influer beaucoup sur sa destinée, et dont nous avons essayé d'esquisser les principaux traits.

Mais la rapidité du mouvement imprimé aujourd'hui à toutes les études, le désir bien naturel de voir éclaircir ce qu'il y a encore de vague et d'incertain autour de nous, l'empressement avec lequel on accueille ce qui semble nouveau ; enfin les préoccupations de la vie, qui, se multipliant sans cesse, font redouter la lecture des longs ouvrages à cause du temps qu'il faut y consacrer, sont des circonstances peu favorables au succès du nôtre. Si en effet le nombre des nouvelles publications est tel

(1) *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences*, vol. II, p. 564. 1836.

Digitized by Google

qu'il soit fort difficile de les parcourir toutes, comment espérer qu'un livre, destiné seulement à rappeler le passé aux uns et à le faire apprécier aux autres, puisse inspirer un intérêt bien vif.

Nous n'ignorons pas non plus qu'aux yeux de quelques personnes les travaux de ce genre sont d'une faible importance, parce que, suivant elles, ils ne font point avancer la science ; mais cette opinion nous semble trop absolue et peu réfléchie ; car pour accorder une si haute et si juste estime à ceux qui nous ont retracé l'*histoire des hommes* ou *des nations* depuis l'antiquité jusqu'à nous, et la refuser à ceux qui s'occupent seulement de l'*histoire des choses*, il faudrait savoir si l'influence des grands historiens sur les progrès de l'humanité est beaucoup plus sensible que celle qu'exercent les ouvrages de la nature de celui-ci sur les progrès de la science, et c'est précisément ce que les personnes dont nous parlons n'ont point encore démontré.

Quoi qu'il en soit, nous ne nous faisons point illusion à cet égard, et le seul mérite qu'il nous soit peut-être permis de revendiquer sera d'avoir précisé l'état actuel de chacune des parties de la géologie, de manière à ce que l'on puisse juger tout d'abord ce qui a été fait, pressentir ensuite ce qui reste à faire, et indiquer avec plus de certitude la meilleure direction à suivre.

On a souvent demandé pourquoi la géologie, dont l'objet est si rapproché de nous, qui frappe à chaque instant nos regards, et dont l'utilité est si évidente, est cependant arrivée si tard à constituer une science réelle et distincte ; pourquoi la recherche de ce qui nous touche immédiatement n'a suivi que de bien loin celle d'une multitude d'autres choses ; pourquoi enfin l'homme qui lisait déjà couramment dans le grand livre de la voûte céleste épelait encore dans cet autre livre de la nature, ouvert à ses côtés et où l'histoire de la planète qu'il habite est tracée en caractères non moins précis que variés. C'est qu'ici les idées ont devancé dans leur marche la connaissance des faits, et que souvent elles se sont trouvées en opposition avec ces derniers. Exceptons-en toutefois quelques grandes vues de l'immortel auteur des *Époques de la nature*, qui expia longtemps le tort d'avoir eu trop tôt raison.

Digitized by Google

L'*entendement humain*, dit Bacon (1), *en vertu de son essence propre*, *est porté aux abstractions*, et nous ajouterons à cette remarque du grand fondateur de la méthode scientifique, que la tendance vers les spéculations a dominé plus longtemps la géologie que les autres sciences, soit parce qu'elle offrait un plus vaste champ à l'imagination de ceux qui s'en occupaient dans le cabinet, soit parce que le mode d'observation suivi dans l'étude des phénomènes naturels était précisément l'inverse de celui qu'il eût fallu adopter.

On fait avancer la géologie de deux manières : en étendant les recherches à des contrées éloignées et sur les divers points du globe, ou bien en scrutant plus profondément ce qui a déjà été exploré, en l'étudiant sous de nouvelles faces et en déduisant de cet examen des résultats qui avaient échappé à des observations moins attentives. Nous appellerons l'une la *géologie de surface* ou *géographique*, l'autre la *géologie profonde*. Pour la première, il ne faut que des yeux ; pour la seconde, il faut une grande sagacité, peut-être même du génie. Or, cette dernière est évidemment la base de l'autre ; c'est elle qui découvre les voies nouvelles de la science et en pose les règles ; la géologie géographique ne fait ensuite que poursuivre les unes et appliquer les autres. Jusqu'à ce que cette distinction eût été reconnue, beaucoup d'hommes instruits avaient parcouru, le marteau à la main, et avec une persévérance digne d'un meilleur succès, de grandes portions de continents, sans avoir pu déchiffrer le premier mot de la théorie de la terre.

Une autre idée fausse, qui concourait à retarder l'émancipation de la géologie, était de croire trouver dans les montagnes l'explication de la formation des couches terrestres. On ne s'apercevait pas que l'on prenait la question par son côté le plus difficile, que l'on essayait en vain de comprendre la règle par l'exception. On allait se heurter sans cesse contre les grandes chaînes, contre les Alpes, les Pyrénées, le Harz, etc., et loin de trouver dans ces rides du globe l'explication de l'origine et de la succession de ses dépôts, on n'y rencontrait que désordre

(1) *Novum organum*, liv. I.

Digitized by Google

et confusion. Rebuté alors d'une étude qui n'offrait, pour ainsi dire, que des amas de pierres inintelligibles, on se bornait à la *lithologie* ou à l'examen de ces pierres considérées en elles-mêmes, ou bien à celui des minéraux proprement dits.

On était loin de penser que les pays de plaines et de plateaux, à couches horizontales, et si généralement dédaignés alors, renfermaient précisément la clef de l'édifice, et qu'il fallait avant tout faire un examen comparatif et détaillé de leurs roches en place, dont la connaissance pouvait seule conduire à la théorie de celles qui avaient été dérangées. Enfin l'étude de ces mêmes couches devait être aussi précédée de celle des phénomènes qui se passent actuellement sous nos yeux; or, pendant plus des trois quarts du XVIII[e] siècle, on a suivi la marche inverse. Non seulement, à l'exception de Lehman, de Pallas, de Guettard, et d'un petit nombre d'autres naturalistes qui pressentaient la vérité, on ne s'occupait que des montagnes, mais encore on n'y cherchait que les roches cristallines, celles dont la chronologie était la plus difficile à établir, et qui n'a pu l'être même qu'après celle des couches sédimentaires non altérées. Les volcans en activité avaient bien aussi le privilége d'attirer les voyageurs, mais ils n'ont guère donné lieu qu'à des descriptions pittoresques, à des relations historiques et à des hypothèses plus ou moins hasardées.

Ce fut donc lorsque des esprits plus justes et plus pénétrants comprirent que des recherches attentives devaient être dirigées d'abord sur des espaces peu étendus, mais où les couches étaient encore dans leur position originaire, et par conséquent dans leurs véritables rapports ou à très peu près; ce fut seulement alors, disons-nous, que la science se trouva réellement constituée, et que l'on put apercevoir tout ce qu'il y avait de fécond dans le principe énoncé par Sténon plus d'un siècle auparavant, et même plus anciennement encore par Strabon. Jusqu'à ce moment les observations étaient restées isolées; les faits, quoique nombreux, n'avaient pu être mis en ordre : c'étaient sans doute d'excellents matériaux; mais, la *méthode* n'étant point encore trouvée, l'édifice tout entier restait à élever, par conséquent la science n'existait pas.

Digitized by Google

A ce grand débrouillement de la géologie positive et pratique, à cette coordination à la fois systématique et naturelle des faits, nous voyons contribuer, à divers titres et dans divers pays, depuis Werner, William Smith, G.-B. Brocchi, et Alexandre Brongniart, dont le monde savant déplore la perte si récente, ces hommes éminents qu'heureusement nous possédons encore, et auxquels leurs travaux assurent sans doute une place bien élevée dans le souvenir des générations qui viendront après nous.

C'est, en outre, un fait très remarquable et dont l'habitude nous empêche d'être frappés, que la succession de tous les dépôts de sédiment et celle des roches ignées de presque toute la surface du globe aient pu être rigoureusement établies par la connaissance seule de quelques parties de l'Allemagne, de l'Angleterre, de la France et de l'Italie, comme si la nature eût voulu que cette Europe occidentale qui devait être le berceau des sciences modernes pût offrir en même temps un abrégé complet de la plus vaste d'entre elles.

Mais cette impulsion ne tarda pas à se faire sentir au-delà. W. Maclure, par sa carte géologique des États-Unis de l'Amérique du Nord, posa dès 1817 la première base de ces nombreux travaux qui, quinze ans plus tard, firent entrer les États de l'Union dans une nouvelle ère scientifique; car il est digne de remarque que ce fut en général l'administration de ces États qui donna le mouvement à ce genre de recherches, tandis que dans l'ancien monde les gouvernements le reçurent de ceux qui depuis longtemps cultivaient la science pour elle-même. Plusieurs hommes d'un grand mérite, géologues pour ainsi dire improvisés, parvinrent, dans un laps d'à peine douze années, à nous faire connaître la constitution géologique des pays compris entre le Mississipi et l'Atlantique d'une part, les grands lacs et le golfe du Mexique de l'autre, presque aussi bien que nous connaissons l'Europe.

M. Alexandre de Humboldt, qui avait esquissé à grands traits et avec une admirable précision les principaux caractères géologiques de l'Amérique centrale et les avait mis en parallèle avec ceux de l'ancien monde, fut dignement continué dans

Digitized by Google

l'Amérique du Sud par des voyageurs partis des bords de la Seine et de la Tamise, tandis que les deux presqu'îles de l'Inde et le versant méridional de l'Himalaya étaient aussi parcourus avec succès par des officiers anglais, dont plusieurs explorèrent l'Afghanistan, la Perse et l'Asie Mineure. Les recherches des ingénieurs russes et de plusieurs savants étrangers rattachèrent également à la géologie de l'Europe celle de l'Altaï, de l'Oural, du Caucase et des plaines ou plateaux qui les environnent.

Quelques Français pénétrèrent dans diverses parties de l'Afrique orientale, où leur zèle et leur dévouement n'ont souvent trouvé qu'une triste récompense. Le littoral de ce continent, surtout au nord et au sud, est assez connu; mais l'intérieur, déjà fatal à tant de courageux explorateurs, reste encore pour nous dans une obscurité profonde. Les côtes de la Nouvelle-Hollande et la Tasmanie, ces grandes terres perdues dans l'Océan austral, et si longtemps ignorées des autres peuples, n'ont pas tardé non plus à être étudiées par ceux qui les avaient colonisées. Enfin les expéditions scientifiques et les voyages de circumnavigation ordonnés par les gouvernements de France, d'Angleterre, de Russie et des États-Unis, en sillonnant les mers dans toutes les directions, depuis les glaces du Spitzberg et de la Nouvelle-Zemble jusqu'aux immenses banquises qui défendent les approches du pôle Sud, sont venus rattacher à la géologie des continents celle des innombrables îles dont ces mers sont parsemées.

N'oublions pas non plus de rappeler que, par suite de cette marche plus rationnelle des études géologiques, l'examen détaillé et comparatif des couches sédimentaires apporta encore dans la science un élément mal apprécié jusque là, quoique indiqué déjà depuis fort longtemps; car il en fut des idées de Fuchsel, d'Arduino et de Lister comme de celles de Sténon, tant il y a loin de la conception d'un principe à son application et à sa généralisation. On sent, en effet, que la distribution des débris organiques, tant du règne animal que du règne végétal, dans la série des dépôts, et leurs différences dans chacun d'eux, ne pouvaient être bien comprises avant que l'ordre de succession ou l'âge relatif des dépôts eux-mêmes eût été rigou-

Digitized by Google

reusement constaté par leur superposition. Cette répartition des fossiles, soumise à certaines règles assez générales que l'on ne tarda pas non plus à reconnaître et auxquelles vient se rattacher le grand nom de Cuvier, servit ensuite à préciser les rapports de dépôts éloignés dont les relations ne pouvaient être déterminées directement.

Mais on exagéra bientôt ce principe d'induction si précieux et si fécond, et, en voulant classer en quelque sorte, *à priori*, les couches par leurs fossiles et non les fossiles par les couches, on est tombé dans un cercle vicieux qui ne tendrait à rien moins, s'il pouvait être admis, qu'à renverser le principe le plus fondamental de la science, celui-là même qui avait introduit l'étude des fossiles dans la géologie pratique.

La paléontologie est encore trop jeune pour que l'on puisse en regarder les lois et les théories comme définitivement assises (1), a dit récemment et avec beaucoup de raison un zoologiste qui a fait preuve de connaissances aussi variées que profondes. Cependant cette manière superficielle et rapide de classer les couches, quoique fausse à quelques égards et incertaine à d'autres, comme nous le ferons voir, n'en a pas moins apporté une foule de matériaux qui seront mis en œuvre par quelque grand architecte futur; car nous sommes loin de penser qu'il n'y ait plus qu'à appliquer au reste du globe les quelques principes déduits des parties le mieux connues de sa surface. Ces dernières même, nous n'en doutons pas, offrent encore un champ fort étendu aux recherches et aux spéculations philosophiques de ceux qui nous succéderont. « La géologie, suivant les ex-
» pressions aussi justes qu'élégantes de M. Élie de Beaumont (2),
» est une science très peu développée par rapport à ce qu'elle
» doit devenir un jour. C'est une *science en construction*, dont on
» ne pourrait même encore indiquer le plan complet que d'une
» manière conjecturale; mais on peut suivre les contours des
» constructions inachevées, voir les pierres d'attente qu'elles

(1) Pictet, *Traité élémentaire de paléontologie*, vol. IV, p. 339. 1846.
(2) *Leçons de géologie pratique*, vol. I, p. 33. 1845.

Digitized by Google

» présentent, et indiquer où elles paraissent tendre. » Enfin nous ajouterons avec l'illustre auteur du *Cosmos*, mais dans un sens plus restreint : « Jamais on ne parviendra à épuiser » l'inépuisable richesse de la nature, et aucune génération ne » pourra se vanter d'avoir embrassé la totalité des phénomè- » nes (1). »

L'histoire de la géologie ressemble donc assez à celle des peuples anciens. Comme eux, elle a eu son époque fabuleuse et elle se trouve mêlée à toutes les théogonies de l'Orient; puis son époque héroïque, encore enveloppée d'une certaine obscurité jusque vers la fin du XVIIIe siècle; enfin son époque critique ou de l'histoire proprement dite, qui ne remonte pas à plus de soixante ans. L'érudition, comme on le conçoit, est peu nécessaire dans les deux premières époques où elle est d'ailleurs très facile et très simple, mais elle devient indispensable et assez compliquée dans la troisième pour quiconque veut cultiver la science avec quelque succès (2) ; aussi n'est-ce pas un des motifs les moins puissants qui nous ont encouragé dans le cours de ce travail que d'y rassembler en même temps des éléments pour servir à une histoire générale de la géologie, et de faciliter ainsi les recherches de ceux qui auront à s'en occuper plus tard.

Pour atteindre le but proposé, nous avons dû chercher à nous entourer du plus grand nombre de matériaux possible, et, secondé par un intermédiaire aussi actif qu'obligeant, M. de Wegmann, nous priâmes M. A. Boué de vouloir bien combler la lacune qui existait dans nos analyses préparatoires, pour les ouvrages publiés en Allemagne et dans les États voisins. Notre appel ne fut pas vain; M. Boué, qui s'occupe depuis longtemps d'une bibliographie générale des sciences géologiques, y répondit de la manière la plus prompte et la plus complète par l'envoi d'une multitude de documents bibliographiques accompagnés d'annotations qui nous ont été du plus grand secours, et pour lesquels

(1) De Humboldt, *Cosmos*, traduction française par M. H. Faye, vol. I, p. 70. 1846.
(2) Wewell, *Proceed. geol. Soc. of London*, vol. III, p. 960.

Digitized by Google

nous le prions de recevoir ici l'expression de notre profonde gratitude. Quelques autres personnes nous ont aussi promis leur collaboration, et nous accueillerons toujours avec plaisir les renseignements qu'elles nous transmettront, tout en faisant connaître que c'est à elles que nous en sommes redevable.

Malgré nos recherches, nous ne doutons pas qu'un certain nombre d'omissions ne puissent être facilement reconnues; mais si l'on songe à la difficulté de se procurer toutes les publications qui paraissent, non seulement dans des pays fort éloignés et avec lesquels les communications sont rares ou irrégulières, mais encore dans beaucoup de villes d'Europe et même de France qui n'ont que peu ou point de relations scientifiques au dehors, on nous pardonnera, nous l'espérons, ces lacunes tout à fait involontaires.

Nous devons encore prévenir un autre reproche qui pourrait nous être adressé, celui de n'avoir donné aucun développement à l'examen de certains ouvrages, qui par leur titre semblent embrasser et résoudre les questions les plus importantes et les plus difficiles. Dans ces livres, souvent écrits avec élégance, la lumière se répand sur les sujets les plus obscurs; on croirait que les limites de la science sont atteintes et qu'il ne reste plus rien à faire qu'à se reposer avec leurs auteurs. Mais on voit bientôt que tout l'échafaudage qui produit cette illusion est basé sur une appréciation superficielle et incomplète d'une multitude de faits d'ordres différents, non comparables entre eux, puisés çà et là dans divers traités et entassés pêle-mêle, pour appuyer une idée préconçue ou déjà plus ou moins ancienne. En outre, lorsque les auteurs se trouvent embarrassés par quelques objections insurmontables, par quelques faits inconciliables avec leurs hypothèses, ils s'écartent du véritable domaine de la science, s'engagent dans une autre voie, et appellent à leur aide les vues et l'autorité de la Providence, ou bien le texte des livres saints, tantôt pour suppléer à l'insuffisance de leur raisonnement, tantôt pour y puiser de nouveaux arguments. On conçoit que l'analyse de ces sortes d'ouvrages, d'ailleurs assez nombreux, et la réfutation de tout ce qu'ils renferment de hasardé, auraient occupé beaucoup de place dans notre travail,

Digitized by Google

sans qu'il en résultât aucun avantage réel pour le lecteur (1).

Quant aux principes qui nous ont guidé dans la rédaction même, nous les exposerons brièvement. Nous avons tâché de présenter les idées et les faits avec le plus de clarté et d'impartialité qu'il nous a été possible, dans le cadre qu'ils devaient occuper, choisissant toujours ceux qui nous paraissaient le plus propres à faire valoir les opinions de chaque auteur. Nous avons mis en regard les opinions opposées, ou les observations contraires, toutes les fois qu'il y avait lieu, procédant *chronologiquement* dans chaque sujet et suivant de plus un *ordre géographique* constant, lorsque la nature du sujet le permettait.

Nous n'avons émis notre propre manière de voir qu'avec une grande réserve; car les faits sont peu susceptibles de discussions si on ne les a pas observés soi-même ; ce sont plutôt les idées ou les conclusions que l'on en déduit, dont la justesse et l'exactitude peuvent être contestées : aussi est-ce particulièrement sur les considérations théoriques que nos objections ont dû porter. Une critique plus étendue aurait pris une place que l'on eût pu regretter de ne pas voir remplie par des observations nouvelles auxquelles cet ouvrage est particulièrement consacré. C'eût été nous substituer en quelque sorte nous-même à notre sujet et remplacer l'histoire par une polémique peut-être hasardée. S'il nous est arrivé, comme cela est plus que probable, de nous tromper, soit sur le sens propre de certains passages, soit dans les jugements que nous avons portés, nous le regrettons vivement, et nous engagerons les personnes qui se croiraient lésées à en appeler devant qui de droit. Pour nous, tout en accueillant ces rectifications, nous éviterons d'entrer dans des discussions qui n'auraient point de terme.

Nous avons donné à chaque sujet et quelquefois à certains faits particuliers des développements suffisants pour que la lecture de ce livre fût moins aride ; car nous n'avons pas eu seule-

(1) Le cadre dans lequel nous devions nous renfermer nous a également obligé de renvoyer à un simple article bibliographique les traités généraux et élémentaires de géologie, quels que soient d'ailleurs leur mérite propre et les vues particulières que les auteurs y ont introduites.

Digitized by Google

ment l'intention de faciliter les recherches aux personnes qui écrivent, mais encore le désir d'offrir à celles qui se bornent à lire un ensemble d'observations qu'elles pussent parcourir avec quelque intérêt et sans une attention trop pénible. Cependant, à ce dernier égard, peut-être ne devons-nous pas nous flatter d'avoir atteint notre but, la nécessité de renfermer le plus de choses dans le moins de mots possible nous obligeant à une concision trop souvent inséparable de la sécheresse. Enfin nous nous sommes attaché à placer chaque série de faits et d'idées dans l'ordre qui est le plus en rapport avec la nature, et qui est en même temps celui avec lequel on est le plus familiarisé, puisqu'il est suivi dans les cours et dans la plupart des traités.

Cet ordre constitue la *classification* ou l'application de la *méthode*, et la manière de l'exprimer est la *terminologie* ou la *nomenclature*. En géologie, la méthode a pour base le *temps* et non l'*espace*, comme dans la géographie, ou bien des *différences* et des *ressemblances*, comme dans les autres branches de l'histoire naturelle, et c'est l'ordre dans lequel les phénomènes se sont succédé à la surface de notre planète qui la constitue réellement.

La durée relative et les résultats de ces phénomènes ont partagé le temps qui s'est écoulé depuis l'origine de la terre en un certain nombre d'époques ou de périodes marquées chacune par des caractères propres, qui ont servi à établir les premières grandes divisions de la science. Ici déjà nous apercevons deux modes inverses de procéder à l'exposition des faits. En écrivant l'histoire de la terre, on peut commencer, comme pour celle des peuples, par son époque la plus reculée, et parcourir ensuite toutes les phases par lesquelles elle a passé jusqu'à nos jours. Cette marche est sans doute la plus logique; cependant la série des faits qui se sont manifestés à la surface du globe étant infiniment plus compliquée que les révolutions d'un empire, et embrassant un laps de temps hors de toute comparaison avec l'existence des nations les plus anciennes, on a regardé l'étude des phénomènes actuels comme la meilleure introduction pour l'intelligence de ceux qui ont eu lieu à des époques plus ou moins éloignées.

Digitized by Google

Les lois de l'analogie nous serviront donc à remonter dans la succession des âges de la terre, et à jeter quelque lumière sur les causes dont les effets seuls peuvent tomber sous notre examen. Ainsi nous procéderons en renversant l'ordre des temps. Mais comme il y a une autre partie à la fois théorique, spéculative et expérimentale de la science qui se rattache également à l'origine du sphéroïde et aux phénomènes actuels, il nous paraît aussi convenable de placer, avant l'histoire réelle de ses révolutions, quelques mots de cosmogonie et de géogénie, puis la physique du globe, la géographie physique et ce qui s'y rapporte le plus directement.

Les phénomènes géologiques, considérés relativement à leur origine, se partagent en deux classes : les uns se sont produits à la surface de l'écorce solide de la terre, les autres ont eu leur source à l'intérieur. Les premiers ont donné lieu aux dépôts sédimentaires, résultats de causes mécaniques, chimiques, ou de forces organiques que nous pouvons apprécier; les seconds ont rejeté au dehors des masses ignées ou fondues, liquides ou même gazeuses, venant de profondeurs que nous ne pouvons qu'imparfaitement juger, et dont l'état résulte de causes à peine soupçonnées encore. L'écorce minérale du globe formée par le concours de ces deux modes d'action se compose donc aussi de deux classes principales de roches correspondant à chacun de ces modes : les unes, *sédimentaires* ou accumulées sous les eaux, toujours stratifiées ou en couches, et caractérisées, en général, par la présence de débris organiques; les autres *ignées*, le plus ordinairement massives et dépourvues de toute trace de la vie (1).

---

(1) Quelques auteurs se sont servis des expressions de *roches aqueuses* ou de *formations aqueuses*, pour désigner les roches sédimentaires, ce qui leur a fait dire qu'il n'y avait pas de distinction réelle entre elles et les roches ignées, l'eau devant être regardée comme une roche à l'état de fluidité ignée, et qui ne diffère des autres que parce que son point de fusion est à zéro au lieu de se trouver à plusieurs centaines de degrés au-dessus; mais il y a ici une double erreur : l'une, c'est que le mot *aqueux* ne veut pas dire *formé dans les eaux*, mais bien *qui renferme de l'eau;* et l'autre, que l'eau n'est point partie essentiellement constituante des roches sédimentaires; elle n'est qu'un intermédiaire mécanique, un milieu soumis à des lois qui disposent d'une

Digitized by Google

Ces deux classes correspondent à celles que M. de Humboldt a désignées sous le nom de *roches exogènes* et *endogènes*, et chacune d'elles pourrait être l'objet d'une étude séparée; mais comme les produits de l'intérieur n'ont pas eu lieu seulement à une des époques dont nous avons parlé et qu'ils se sont manifestés, au contraire, dans chacune d'elles concurremment avec les dépôts sédimentaires, leur description, autant que nos connaissances le permettent, suivra donc celle de ces mêmes dépôts dont la chronologie est plus directement établie.

La terminologie ou la nomenclature d'une science n'est pas, comme on pourrait le croire, une simple question de mots sans importance, et ce qui le prouve, c'est que les hommes les plus éminents en ont toujours fait l'objet d'une étude spéciale. En effet, elle doit être l'expression de la méthode, de la classification rationnelle, et indiquer, en outre, l'état plus ou moins philosophique ou le degré de perfection auquel la science est parvenue. On se ferait cependant une fausse idée du point où est arrivée celle qui nous occupe, si l'on jugeait de sa méthode par sa terminologie; car l'une peut être regardée comme généralement adoptée et assise sur des fondements assez solides, tandis que l'autre ne nous présente encore qu'un langage vague, confus, incohérent, souvent même barbare. La nécessité où nous sommes, pour le cours de cet ouvrage, de faire un choix parmi les mots de toutes sortes qui encombrent les traités ou les travaux particuliers nous oblige à entrer ici dans quelques détails pour justifier celui auquel nous nous sommes arrêté.

La nomenclature géologique comprend deux parties distinctes: l'une est la dénomination des diverses espèces de roches qui entrent dans la composition de l'écorce terrestre, en tant qu'elles sont considérées en elles-mêmes et par rapport à leurs éléments minéralogiques constituants; l'autre est la dénomina-

---

certaine manière les éléments solides qu'elle tient en suspension. Dans les roches ignées, au contraire, ce sont les éléments constituants eux-mêmes qui ont été à l'état de fluidité ignée. C'est donc seulement l'eau à l'état liquide ou à l'état solide ou de glace qui peut leur être comparée et qui peut être désignée, comme nous le ferons nous-même, sous le nom de *roche aqueuse*.

Digitized by Google

tion des masses que forment ces roches considérées dans leur position relative d'ancienneté les unes par rapport aux autres. La première est la *terminologie des roches*, la seconde la *terminologie des terrains.*

Nous ne nous occuperons point ici de la terminologie des roches, parce qu'elle est assez uniforme, assez connue et assez généralement adoptée malgré tout ce qu'elle laisse encore à désirer, soit théoriquement, soit comme application. Nous laissons d'ailleurs aux auteurs la responsabilité de la détermination et de la propriété des noms qu'ils ont adoptés; seulement, lorsque quelque dénomination particulière à un écrivain ou à un pays devra être employée, faute d'un synonyme plus usité, nous en donnerons une courte explication.

La nomenclature des terrains n'a pas les mêmes avantages, et, sans rappeler toutes celles que l'on a proposées depuis Werner jusqu'à nous, on peut voir que d'une part presque tous les auteurs qui ont écrit des traités généraux ont présenté la leur, et que de l'autre les géologues que nous appellerons *descriptifs* ont créé des nomenclatures partielles pour les pays ou les dépôts dont ils se sont plus particulièrement occupés. Les terminologies basées sur des racines grecques ou des mots latins offrent l'inconvénient d'ajouter encore, sans nécessité, deux langues de plus à l'association déjà assez hétérogène de mots français, anglais, allemands, suédois, italiens, etc., joints à des expressions locales, techniques ou autres, qu'il est impossible de changer. Au moyen âge, la chimie naissante, sous le nom d'alchimie, avait donné aux métaux les noms des Dieux de la mythologie, et l'astronomie les avait reportés dans le ciel pour désigner les planètes et les constellations; de même aussi les premiers géologues *classificateurs* voulurent faire descendre une seconde fois l'Olympe sur la terre. Mais le temps des allégories est passé; laissons le vieux Saturne, ainsi que ses enfants et leur gracieux cortége de nymphes et de tritons; une science dans l'âge mûr doit éviter d'employer des expressions symboliques, quelque ingénieuses qu'elles soient.

Une autre cause de confusion est de prendre la base de la no-

Digitized by Google

menclature dans des ordres d'idées tout à fait différents : ainsi, pour les uns, c'est le caractère minéralogique des couches ; pour d'autres, leur superposition relative, leur mode de formation, les noms des localités dans lesquelles ces couches ont été décrites pour la première fois, ou bien encore les fossiles qu'elles renferment, ou enfin l'absence plus ou moins constatée de ces mêmes débris organiques.

La diversité de ces points de vue est sans doute fâcheuse, mais chacun d'eux repose au moins sur une donnée scientifique, tandis qu'il y a une source d'erreurs qui n'a réellement aucune excuse possible. Elle consiste à se servir tantôt d'expressions et de mots différents, mais non équivalents ni synonymes, si ce n'est peut-être dans la pensée de l'auteur, pour désigner une même chose ou une même idée d'ailleurs bien déterminée, tantôt de la même expression ou du même mot pour des choses ou des ordres d'idées tout à fait distincts.

Nous prendrons pour exemple le mot *terrain*, qui est un de ceux dont on a le plus étrangement abusé. Ainsi, dans le même ouvrage, on lira tantôt le *terrain jurassique*, tantôt la *formation jurassique;* plus loin, le *terrain secondaire*, puis le *terrain corallien*, et enfin ce même mot appliqué à une couche accidentelle de quelques mètres d'épaisseur et de quelques kilomètres d'étendue. Plusieurs personnes emploient le pluriel et disent les *terrains jurassiques*, ce qui n'a plus de sens. Nous pourrions en citer enfin qui, après avoir divisé le *terrain jurassique* en *formations*, et les formations en *étages*, subdivisent de nouveau ces *étages* en *terrains !* Que penserait-on de l'esprit philosophique d'un zoologiste ou d'un botaniste qui se servirait du mot *classe*, tantôt au pluriel, tantôt au singulier, ici dans son acception la plus large, là pour les mots *ordre*, *famille*, *genre* et même *espèce*, et qui dirait indifféremment les *ordres des quadrumanes*, les *ordres des chéiroptères*, etc., ou bien la *classe des mollusques*, l'*ordre des brachiopodes*, le *genre Térébratule* et la *classe* de la *Terebratula biplicata?* On voit combien sont méconnus les principes les plus élémentaires de la méthode, puisqu'on donnerait ainsi à une fraction, quelquefois infiniment petite, non seulement

Digitized by

la même valeur qu'à l'unité, mais encore qu'à un multiple de l'unité.

Le langage géologique ne semble pas devoir prétendre de longtemps à la régularité systématique des terminologies zoologiques et botaniques, étant composé de mots tirés de la plupart des langues modernes, de noms de localités, d'expressions techniques ou même populaires, sans étymologie connue, et qui ne pourraient être remplacés par d'autres sans de graves inconvénients. Aussi nous sommes-nous borné à faire un choix dans ce qui existe déjà et à rendre la nomenclature la plus simple possible en employant les mots les plus usités, les plus vulgaires même, soit français, soit étrangers, ou techniques, rejetant la plupart des expressions tirées de la mythologie ou des langues anciennes, les associations *hybrides* de prépositions latines avec des noms modernes, les adjectifs dérivés de substantifs, les substantifs formés à leur tour aux dépens des adjectifs, et la plupart de ces mots introduits chaque jour sans nécessité, puis adoptés sans réflexion.

Nos divisions principales se rapporteront aux mots *roche*, *terrain*, *formation*, *groupe* et *étage*, qui auront chacun un sens fixe et déterminé, indiquant des sous-divisions de moins en moins importantes. Les mots *assise*, *couche* ou *nappe*, *banc* ou *strate* et *lit* exprimeront de même des sous-divisions du mot étage. Afin d'éviter les répétitions trop fréquentes, le mot *époque* sera synonyme de *terrain*, ou employé dans un sens plus restreint pour désigner le temps pendant lequel s'est formé un ensemble de couches déterminées; il en sera de même du mot *série*. *Système* et *période* seront synonymes de *formation*. Le mot *dépôt* sera pris dans une acception générale pour désigner la réunion des couches qui se sont produites pendant une époque, une période, ou bien dans un espace limité.

Le mot *roches* au pluriel pourra être également associé à celui qui caractérise le terrain, la formation, le groupe ou l'étage, et nous dirons indifféremment le *terrain tertiaire*, *secondaire*, etc., ou les *roches tertiaires*, *secondaires*, etc.; la *formation jurassique*, du *trias*, etc., ou les *roches jurassiques*, du *trias*, etc. Au sin-

Digitized by Google

gulier, le mot *roche* pourra remplacer le mot *étage*. Comme il sera pris alors dans un sens minéralogique, le nom spécifique de la roche elle-même ou de la roche dominante pourra lui être substitué, soit seul, soit en y ajoutant l'adjectif ou le substantif qui caractérise la sous-division. Nous dirons donc *calcaire néocomien* ou *étage néocomien*, *étage de Kimmeridge*, *argile* ou *roche de Kimmeridge*, *étage de Portland*, *grès* et *calcaire de Portland*, etc. Mais nous éviterons de dire *le néocomien*, *le portlandien*, *le kimmeridgien*, et autres locutions vicieuses qui constituent des tours elliptiques aussi forcés que si l'on disait *le parisien* pour le calcaire grossier de Paris, *le tourangeau* pour le falun de la Touraine, etc. Ces observations ne s'appliquent d'ailleurs qu'aux roches de sédiment, dont les associations ont reçu des noms consacrés depuis longtemps; car les roches ignées ou cristallines seront toujours désignées par leur nom spécifique.

En résumé, dans cette nomenclature, l'écorce minérale du globe comprend *deux classes de roches :* les *roches sédimentaires* et les *roches ignées* ou *pyrogènes*. Les roches de sédiment se divisent en *six terrains*, qui sont les *terrains moderne*, *diluvien* ou *quaternaire*, *tertiaire*, *secondaire*, *intermédiaire* ou de *transition*, et *primaire*. Chaque terrain ou époque se subdivise en *formations*, *systèmes* ou *périodes*, les formations en *groupes*, et ceux-ci en étages (1). Enfin l'étage a pour sous-divisions les *assises*, les *couches* ou *nappes*, les *bancs* ou *strates* et les *lits*. Les roches ignées sont aussi classées d'après leur âge, connu ou présumé, et leurs caractères minéralogiques. Elles seront désignées d'ailleurs, comme nous venons de le dire, par leur nom spécifique et indépendamment de leur ancienneté. Notre point de départ est donc encore, à très peu près, l'ancienne nomenclature de Werner, telle qu'elle a été modifiée et mise au niveau des connaissances actuelles par les

(1) Quelques auteurs divisent les *étages* en *groupes*, ce qui nous paraît former un contre-sens évident; car le mot *étage* ne renferme aucune idée collective ou de pluralité, tandis que le mot *groupe* exprime, au contraire, la réunion de plusieurs unités dont la valeur doit aussi être déterminée.

Digitized by Google

auteurs de la *Carte géologique de France.* Nous ne pouvions nous appuyer sur une meilleure autorité que celle de ces savants, qui ont fait preuve d'un jugement excellent en ne profitant pas de cette circonstance pour ajouter une nouvelle nomenclature à toutes celles que nous possédons.

Conformément à cette classification et aux principes que nous avons énoncés précédemment, nous distribuerons les divers sujets que nous devons traiter, de la manière suivante dans les quatre volumes qui composent cet ouvrage.

Volume I. *Cosmogonie et géogénie, physique du globe, géographie physique, terrain moderne.*

— II. *Terrains diluvien* ou *quaternaire* et *tertiaire.*

— III. *Terrains secondaire* et *intermédiaire* ou de *transition.*

— IV. *Terrain primaire. Sciences accessoires et sujets divers,* comprenant : 1° *la paléontologie avec un catalogue des publications qui s'y rapportent ;* 2° *la paléophytologie ;* 3° *les failles, les soulèvements, les abaissements, et les théories qui les concernent ;* 4° *les filons et leur théorie ;* 5° *le métamorphisme ;* 6° *les nouveaux gisements de minerai ;* 7° *l'analyse des roches qui entrent comme partie essentielle dans la composition de l'écorce terrestre ;* 8° *la structure des roches et leurs clivages ;* 9° *les puits artésiens ;* 10° *les aérolithes ;* 11° *la sélénologie ;* 12° *un appendice bibliographique complémentaire ;* 13° *un résumé de statistique bibliographique par pays, par langue et par matière ;* 14° *table des auteurs cités dans les quatre volumes.*

Chaque volume se divise en un certain nombre de *parties.* Celles-ci se divisent en *chapitres* et ces derniers en *sections.* Toutes les publications qui se rapportent à un chapitre ou à une

Digitized by Google

section, et qui n'ont point été mentionnées dans le courant du texte ni dans les notes placées au bas des pages, sont réunies, à la fin de ce chapitre ou de cette section, sous le titre d'*Appendice bibliographique*. Cette disposition, jointe à la table analytique des matières placée à la fin de chaque volume et à la table des auteurs qui terminera le quatrième, permettra toujours, un sujet étant donné, de trouver de suite toutes les publications qui s'y rapportent, ou bien, un nom d'auteur étant donné, d'arriver à connaître non seulement les ouvrages qu'il a écrits, mais encore les opinions qu'il a émises, les observations qu'il a faites sur telle ou telle matière, sur tel ou tel pays, etc. Quant à une table des lieux cités, c'eût été faire en quelque sorte un abrégé de dictionnaire géographique, et nous avons dû y renoncer.

Si la nomenclature propre de la géologie est peu régulière, l'orthographe des mots scientifiques, même les plus usités, est bien loin aussi d'être uniforme et généralement adoptée. Ainsi, parmi les auteurs qui font le plus autorité dans la science, les uns écrivent *oxygène*, *oxyde*, *quartz*, *nickel*, *oolithe*, *aérolithe*, etc., les autres *oxigène*, *oxide*, *quarz*, *nikel*, *oolite*, *aérolite*, etc. Pour nous, nous avons suivi l'orthographe adoptée dans le *Dictionnaire de l'Académie française* (édition de 1835) et dans le *Complément* de ce dictionnaire, publié en 1842, orthographe qui a presque toujours l'avantage de moins s'éloigner de l'étymologie propre des mots, que celle qui lui a été substituée, souvent dans le seul but de la simplifier (1).

Quant à l'orthographe des noms géographiques, la confusion et le manque d'uniformité sont encore plus frappants, chaque voyageur et chaque géographe ayant, pour ainsi dire, la sienne. Parmi toutes les variantes, nous avons particulièrement adopté

---

(1) Nous en excepterons toutefois le mot *strate* qui, soit qu'il dérive de *stratum* (neutre) ou de *stratus* (masculin), ne peut être convenablement rendu en français qu'avec ce dernier genre; autrement il faudrait le considérer comme le féminin du participe de *sterno*, et il ne pourrait alors être employé seul. Les géologues anglais, qui paraissent avoir les premiers employé ce mot, l'ont d'ailleurs compris ainsi, puisqu'ils écrivent *stratum* au singulier et *strata* au pluriel.

Digitized by Google

l'orthographe usitée dans Vosgien, Malte-Brun, le *Complément du Dictionnaire de l'Académie* et dans les ouvrages de M. de Humboldt, sans nous préoccuper des prétentions plus ou moins fondées des auteurs qui croient rendre exactement en français les noms de langues étrangères dont les alphabets diffèrent entièrement du nôtre.

Pour indiquer l'*orientation* d'une chaîne de montagnes ou sa direction, le plongement des couches, la position géographique d'un lieu, etc., nous avons fait usage des abréviations ordinaires N., S.; E., O.; S.-E.; N.-O., toutes les fois que l'expression marquait un sens absolu. Lorsqu'au contraire l'orientation n'était que relative à un point donné et jointe à un substantif, nous avons écrit ces expressions en toutes lettres et sans majuscules; enfin nous avons mis en toutes lettres et avec majuscules les mots *Nord*, *Sud*, *Est*, *Ouest*, lorsqu'ils étaient employés comme substantifs qualificatifs.

Nous avons réduit en mesures françaises métriques la plupart des nombres que nous avions à citer; mais le temps ne nous ayant pas permis de les réduire tous, nous donnons ci-dessous une table de réduction des mesures étrangères qui ont été conservées. Il n'était pas d'ailleurs possible de suivre à cet égard une règle absolue, beaucoup d'auteurs ne précisant pas l'espèce de l'unité de mesure qu'ils emploient, et qui, quoique portant le même nom, a des valeurs très différentes dans des pays différents.

Quant aux indications thermométriques, nous en avons aussi ramené un certain nombre à l'échelle centigrade, et pour éviter qu'on ne soit obligé de recourir à d'autres ouvrages, nous placerons ci-après les types de calculs pour réduire les degrés de l'échelle de Réaumur et de celle de Fahrenheit en degrés centigrades. Dans le courant du texte, les lettres R. et F., placées à côté du chiffre des degrés, indiquent les graduations de Réaumur et de Fahrenheit; la lettre C indique quelquefois les degrés centigrades; mais le plus ordinairement cette graduation n'est accompagnée d'aucun signe particulier.

Digitized by Google

Réduction des mesures anglaises en mesures françaises métriques.

	mètres.
Pouce ($\frac{1}{36}$ du yard).	0,02539954
Pied ($\frac{1}{3}$ du yard, $\frac{15}{16}$ du pied de roi). . .	0,304794
Yard (3 pieds, $\frac{10}{11}$ du mètre environ). .	0,914383
Fathom (2 yards, $\frac{15}{16}$ de la toise environ).	1,828766
Mille de 69 $\frac{1}{2}$ au degré (1760 yards, 825 toises $\frac{2}{3}$).	1609,3149
Mille géographique ou nautique.	1851,85
	m. carré.
Yard carré.	0,836097
	hectare.
Acre (4840 yards carrés).	0,404671
	litre.
Gallon.	4,5434
	gram.
Grain.	0,06477
Once.	31,0913
	kilog.
Livre (poids de Troy).	0,373095
Livre (avoir du poids).	0,453414
Quintal (112 livres).	50,78246
Tonne (20 quintaux).	1015,649

Réduction des mesures russes en mesures métriques.

	mètres.
Ligne.	0,0025399
Pouce.	0,025399
Pied	0,30479
Archine ou aune.	0,7114667
Sagène ou toise.	2,134
	kilom.
Verste (500 sagènes) de 104 au degré. .	1,067
	hect.
Dessiatine (2400 sagènes carrées). . . .	1,09294944
	litre.
Vedro.	12,3
Kruska.	1,23
	kilogr.
Berkovetz.	163,806960
Poud.	16,380696
Livre.	0,409517
Zolotnik.	0,0042658
Dolei.	0,000044435

Réduction de mesures diverses en mesures métriques.

	mètres.
Lieue marine de 20 au degré.	5555,55
Mille d'Allemagne de 15 au degré. . . .	7407,40
Mille d'Italie.	1856,44
— de Sardaigne et de Piémont. . . .	2533,75
— romain.	1489,00
— napolitain..	1865,69
Palme napolitain.	0,262
Canne de Naples = 8 palmes.	2,0961
Palme romain (8 pouces 3 lignes $\frac{1}{2}$). . .	0,22444
Varas d'Espagne.	0,83536
Pied bavarois.	0,29186
	kilogr.
Livre de Danemark.	0,499327
	mètres.
Pied chinois (mathématique)..	0,33310
— (d'arpenteur).	0,31960
— (de constructeur ou *kong-pu*).	0,32280
— (du commerce).	0,33830
Li ou ly, environ.	500,000

Réduction des degrés des échelles thermométriques de Réaumur et de Fahrenheit en degrés centigrades.

Pour réduire les degrés du thermomètre de Réaumur en degrés centigrades, sachant que 80° R. = 100° C., ou que 4° R. = 5° C., on multiplie les indications du thermomètre de Réaumur par 5 et on les divise ensuite par 4 ; pour convertir, au contraire, les degrés centigrades en degrés Réaumur, on multiplie par 4 et l'on divise par 5. Ainsi :

$$14^\circ \text{ R.} = \frac{14 \times 5}{4} = 17 \text{ C.}; \text{ et } 14^\circ \text{ C.} = \frac{14 \times 4}{5} = 11^\circ{,}5 \text{ R.}$$

Dans l'échelle thermométrique de Fahrenheit, le point de glace fondante correspond à la 32e division, le point d'ébullition à la 212e, et l'intervalle est partagé en 212 — 32 ou en 180 parties. Au-dessous de 32, on compte jusqu'à zéro; au-dessous de zéro, les degrés sont négatifs. Pour réduire ces degrés en degrés centésimaux, on retranche d'abord 32 pour avoir des degrés correspondants, et comme 180° F.

Digitized by Google

= 100° C. ou 9° F. = 5° C., on multiplie le reste par 5 et l'on divise le produit par 9. Ainsi :

$$50° \text{ F.} = (50 - 32) \times \frac{5}{9} = 10° \text{ C.}$$

On procède de même si les degrés Fahrenheit sont au-dessous de 32. Soient 13° F. ; alors :

$$13° - 32° = -19 \text{ et } 13° \text{ F.} = -19° \times \frac{5}{9} = -10°,55 \text{ C.}$$

On réduit encore de même les degrés négatifs de Fahrenheit en soustrayant 32° de — 16° F. Ainsi :

$$-16° \text{ F.} = -48° \times \frac{5}{9} = -26°,67 \text{ C.} \quad (1).$$

Abréviations employées dans le texte courant.

Les chiffres placés entre parenthèse dans le courant du texte, comme (p. 240), indiquent la page du livre dont on parle, et à laquelle se rapporte le passage cité. Les chiffres précédés du mot *anté*, comme (*anté*, p. 420), marquent un renvoi à un sujet déjà mentionné dans le volume même de notre ouvrage, et (*anté*, p. 214, vol. I, II ou III) indique un renvoi aux autres volumes de ce même ouvrage.

Les abréviations employées dans les notes pour désigner les divers recueils scientifiques auxquels nous renvoyons seront facilement comprises; les suivantes seules pourraient donner lieu à quelque incertitude, et nous devons les expliquer ici.

Amer. Journ. = *The american Journal of science and arts.* Journal américain des sciences et des arts, publié par MM. Silliman.

Ann. des sc. géol. = *Annales des sciences géologiques*, etc., publiées par M. A. Rivière.

Bibl. ital. = *Biblioteca italiana*. Bibliothèque italienne.

Bull. = *Bulletin de la Société géologique de France.*

---

(1) Nous empruntons ces exemples au *Cours complet de météorologie* de Kaemtz, traduit et annoté par M. Ch. Martins.

Comp. rend. ou *Compt. rend.*	= *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences.*
L'Écho.	= *L'Écho du monde savant.*
L'Institut.	= *L'Institut, journal universel des sciences.*
Neu. Jahrb.	= *Neues Jahrbuch für Mineralogie und Geognosie.* Nouveau journal de minéralogie et de géognosie, publié par MM. de Leonhard et Bronn.

Digitized by Google

HISTOIRE

DES

PROGRÈS DE LA GÉOLOGIE

PENDANT LES ANNÉES 1834 A 1845.

PREMIÈRE PARTIE.

CHAPITRE PREMIER.

COSMOGONIE.

A mesure qu'une science s'avance dans la voie de l'observation directe et de l'analyse, le champ de l'imagination semble se rétrécir, et les spéculations, plus brillantes que solides, qu'elle enfantait naguère avec tant de facilité, deviennent de plus en plus rares; aussi la recherche de l'origine des corps célestes n'est-elle plus aujourd'hui, de la part des hommes réfléchis, que l'objet de quelques tentatives isolées, se produisant avec réserve au milieu des faits rigoureux et précis, que les sciences mathématiques et physiques accumulent sans cesse autour de nous. Ce premier chapitre de notre travail paraîtra donc bien court, eu égard à l'immensité du sujet indiqué par son titre; mais cette brièveté est, comme on le voit, la conséquence même des progrès réels de la science.

Tous les écrivains ne sont peut-être pas encore bien convaincus de la nécessité de se maintenir dans un ordre d'idées qui ne dépasse plus le domaine de l'expérience, ou qui du moins ne s'écarte pas des limites d'une induction rationnelle; aussi avons-nous renvoyé, comme pour le reste de l'ouvrage, à l'*Appendice bibliographique* placé à la fin du chapitre les diverses publications qui nous ont paru représenter, seulement sous une autre forme, des hypothèses connues depuis longtemps, ou basées sur des données plus ou moins contestables.

Digitized by Google

Il en a été de même des écrits dans lesquels on s'est attaché à établir une certaine corrélation entre les faits géologiques et la cosmogonie du premier livre de la Genèse.

Le premier ouvrage, par ordre de date, dont nous avons à nous occuper, ne nous est connu que par un simple exposé, et il devait être suivi d'une ou de plusieurs autres parties qui ne nous sont point parvenues. M. Auguste Comte, dans un *mémoire de cosmogonie positive, contenant une vérification mathématique de l'hypothèse proposée par W. Herschel et de Laplace pour expliquer la formation de notre système solaire* (1), paraît avoir soumis au calcul les seules données qui, dans l'état actuel de la science, en sont susceptibles, et il est arrivé à ce résultat général; « qu'en supposant la limite mathématique de l'atmosphère solaire successivement étendue jusqu'aux diverses planètes, la durée de la rotation du soleil était, à chacune de ces époques, sensiblement égale à celle de la révolution sidérale actuelle de la planète correspondante, et de même pour chaque atmosphère planétaire à l'égard de tous les différents satellites respectifs. »

Par suite, l'auteur démontre, en appliquant en sens inverse la formule qu'il a déjà employée, que la formation du système planétaire dont nous faisons partie est complète, et que le même résultat a lieu pour les satellites des planètes; « et ainsi, dit-il, cette théorie cosmogonique tend à nous représenter notre monde comme parvenu à cet âge de consistance qui ne comporte plus de formation nouvelle. »

En 1837, M. Lenglet (2), s'appuyant sur les lois de la physique et l'état actuel des astres, s'est attaché à prouver que ceux-ci ont été nécessairement vaporisés. « En remontant plus haut dans le passé, dit-il, je trouve cette vapeur de plus en plus diffuse, et, antérieurement encore, elle ne formait qu'une seule masse remplissant l'espace infini et s'écartant de moins en moins d'une répartition uniforme, laquelle n'a pu avoir lieu qu'à une époque infiniment éloignée de nous. » Ce sont ces idées, déjà indiquées par les deux grands astronomes dont nous avons parlé ci-dessus, que M. Lenglet développe ensuite et cherche à établir par de nombreuses preuves, dans l'exposé desquelles

(1) *Acad. des sciences*, 26 janvier 1835. — *L'Institut*, 28 janvier 1835.

(2) *Mémoire sur l'état primitif de l'organisation de l'univers*, in-8. Douai, 1837.

nous ne pouvons entrer, car elles se rattachent plus à l'astronomie qu'à la géologie proprement dite. C'est ainsi qu'il fait voir pourquoi, dans chaque système, les mouvements de translation et de rotation sont dirigés dans le même sens, pourquoi c'est dans les planètes supérieures que l'on trouve la moindre densité et la rotation la plus rapide, pourquoi la densité des satellites est plus faible que celle des planètes et comment le satellite inférieur de chaque planète peut être privé d'atmosphère. L'auteur s'occupe aussi de l'incandescence actuelle ou passée de tous les astres, de l'affaiblissement graduel de certaines étoiles, puis des comètes, des bolides, des aérolithes, etc. Ce mémoire, d'ailleurs peu connu, nous paraît mériter de l'être davantage, et il ne peut qu'être consulté avec fruit par les personnes qui s'occupent particulièrement de l'origine, de l'état actuel et de l'avenir des mondes.

M. P. Morin, dans son *Introduction à une théorie générale de l'univers* (1), après avoir dit quelques mots de cosmogonie, semble indiquer la cause de la chaleur centrale de la terre comme résultant de la concentration rapide des molécules de la matière, lorsque celle-ci se trouva sollicitée par l'action de la pesanteur vers un centre commun. Cette idée, sur laquelle nous aurons plusieurs fois occasion de revenir dans le chapitre suivant, a été développée avec beaucoup de talent quelques années après par M. F. Angelot (2).

Ce dernier, qui ne connaissait point d'ailleurs les mémoires de MM. Lenglet et Morin (3), part de la réflexion suivante faite par

---

(1) In-8. Saint-Brieuc, 1835.

(2) *Des conséquences de l'attraction, relativement à la température du globe terrestre, des corps célestes et des espaces, et à la composition de ces mêmes corps.* (*Bull.*, vol. XI, p. 136. 1840.)

(3) Nous trouvons en effet dans des notes manuscrites que M. Angelot a bien voulu nous confier, qu'il n'a eu connaissance de l'ouvrage de M. Lenglet qu'après la publication de son travail, mais nous y voyons de plus l'indication d'un ouvrage très curieux et très rare du père Castel, intitulé : *Traité de physique sur la pesanteur universelle des corps*, 2 vol. in-12. 1724. D'après l'analyse insérée au *Journal des savants* (juin 1724, p. 391-410), on voit que, le premier, cet auteur a eu l'idée de l'attraction ou de la pesanteur, considérée comme cause de la génération de l'univers et du feu central de la terre. On remarquera seulement, d'après les passages recueillis avec un grand soin par M. Angelot, que les faits cités par le père Castel à l'appui de son système sont pris dans des phénomènes d'un autre ordre que ceux des lois de la physique et qu'ils ne sont nullement applicables à l'hypothèse en question.

Digitized by Google

M. Biot en 1839, à la fin de son cours d'astronomie : « Que, puis-
» qu'au milieu de toutes les combinaisons possibles nous étions
» arrivés au moment où cette propriété (l'attraction universelle)
» était la seule qui fût commune à toutes les molécules de la matière,
» il y avait *probabilité* qu'un moment viendrait, quelque éloigné
» qu'il fût, où cette combinaison changerait, où cette propriété
» cesserait d'être universelle. » Cette supposition du savant académicien étant la base de l'argumentation de M. Angelot, nous croyons, avant d'aller plus loin, devoir en discuter la valeur.

Par cela même qu'une propriété est reconnue commune à tous les corps, nous ne pouvons pas admettre l'existence de ces corps sans cette propriété; il y a donc *plus de probabilité* pour qu'elle ne cesse pas d'agir que toute autre, car elle semble inhérente à la matière, et nous ne concevons point la matière sans elle. Maintenant, si c'est une propriété universelle, l'esprit comprend-il nettement qu'il y ait eu un moment ou un lieu de l'espace, où cette propriété n'existât point, et qu'une force universelle ait pu se développer sans une force extérieure plus universelle encore? Mais nous ne connaissons rien de plus général que cette loi, nous ne pouvons donc pas lui assigner une origine en dehors d'elle-même. La loi qui régit tous les corps connus est comme l'univers, auquel nous n'apercevons de limites, ni dans le temps ni dans l'espace. Où chercher d'ailleurs la cause d'une loi universelle de la matière, si elle n'est pas coexistante avec la matière elle-même? Or, une loi universelle ne peut être le résultat d'actions particulières ou locales, car elle est elle-même la raison de tout. Spéculer sur le principe du monde, en admettant comme effet secondaire la seule loi générale que nous connaissions, nous semble par conséquent une marche peu rationnelle. La connaissance de la gravitation universelle, la plus grande idée après celle de Dieu qui soit jamais entrée dans l'esprit humain, est notre seul point de départ certain; et son origine ou son essence, s'il arrive jamais qu'on la connaisse, pourra seule nous éclairer alors sur l'état primitif de l'univers qu'elle régit.

Cela posé, revenons au travail de M. Angelot, qui, admettant la possibilité que l'attraction universelle ait une fin, en déduit naturellement qu'elle peut avoir eu un commencement, et recherche l'état de choses qui a dû précéder ce commencement. Pour cela, il propose cette seconde hypothèse : qu'il y avait, au moment initial, un même état et une même température de la matière, dans toutes les parties de l'espace, c'est-à-dire que la matière était disséminée dans tout l'es-

Digitized by Google

pace à l'état de molécules *équidistantes* et *isothermes*, ce que l'auteur appelle l'*homogénéité statique de la matière et de la température dans l'espace.* S'appuyant ensuite sur ce principe de la théorie atomistique, que tous les atomes de la matière pondérable, quelle qu'en soit la nature, ont une chaleur spécifique égale, il suppose que l'univers étant dans cet état, l'attraction commence à se manifester, et il suit les diverses phases de cette action. Ainsi, dit-il, dans ce grand déchirement, dans cet immense chaos, les résultantes des attractions des diverses molécules de la matière ont dû produire des centres d'attraction qui sont devenus chacun le centre d'un système solaire ou d'un ensemble de systèmes solaires, tels que peuvent être les nébuleuses ou une partie d'entre elles. On voit qu'ici, M. Angelot arrive au même résultat que M. Lenglet, mais par une marche inverse de celle qu'avait suivie ce dernier.

Après avoir rappelé le développement de température qui a lieu dans l'expérience du briquet à air, comme l'avait fait aussi M. Lenglet, l'auteur pense que la rapidité avec laquelle les molécules ont dû se précipiter vers les centres qui s'étaient formés, quelque basse qu'ait été la température originaire et générale de toutes les molécules de la matière, a pu suffire pour produire au centre de la masse une température énorme; et si l'on ajoute les actions chimiques qui ont dû se manifester au moment où les molécules de matières différentes se sont trouvées plus rapprochées les unes des autres, on aura une idée des causes qui ont pu élever suffisamment la température du système solaire pour fondre toutes les matières. De l'état de liquidité gazeuse inexpansible, elles seront passées à celui de fluide élastique, puis de liquidité ignée par l'élévation de la température, d'autant plus développée que l'attraction agissait depuis plus longtemps et que les matières étaient plus près du centre; la pression étant d'autant plus grande qu'on en est plus voisin et que l'attraction agit en raison inverse du carré des distances.

Par suite de ces phénomènes successifs, la température des espaces célestes a dû diminuer, car d'une part les molécules de la matière ont entraîné avec elles le calorique qui les entourait, et de l'autre il y avait, vers les centres d'attraction, accumulation du calorique qui s'est ainsi trouvé inégalement réparti dans la nature. Actuellement, dit M. Angelot, nous assistons en quelque sorte à la contrepartie ou à la réaction du phénomène. L'équilibre de la température tend à se rétablir, et pour le soleil et pour la terre en particulier,

Digitized by Google

nous les voyons restituant graduellement aux espaces, sous forme rayonnante, le calorique que les matières qui les composent en avaient enlevé.

Diverses opinions ont été émises par les physiciens sur la température des espaces célestes. Ainsi elle serait de —50° ou —60° d'après Fourier, de —13° seulement d'après Poisson, et de —142° d'après M. Pouillet; M. Angelot rappelle aussi que W. Herschel regardait certaines nébuleuses comme des amas de matières que l'attraction concentrait actuellement. Mais cette dernière hypothèse nous paraît peu d'accord avec la précipitation si rapide, nécessaire pour opérer la conflagration et la liquéfaction ignée des molécules, telle qu'il faut la supposer à l'origine des corps planétaires, et l'on ne se rend pas bien compte pourquoi, après tant de milliers d'années, il en resterait encore à se former. En outre, on ne voit pas non plus pourquoi, lors de la précipitation des molécules vers les grands centres, il s'en est formé de secondaires et même de troisième ordre, tournant autour du premier et dans le même sens, mais avec un mouvement de rotation différent. Ainsi l'hypothèse peut expliquer la formation des corps, mais elle n'explique pas leurs mouvements, et c'est précisément la loi de ces mouvements qui est la seule chose que nous connaissions avec quelque certitude. Il faut donc, de toute nécessité, avoir recours à une autre hypothèse pour la génération des divers systèmes planétaires, laquelle puisse rattacher les planètes et leurs satellites à un centre commun, ainsi que l'ont proposé Buffon et de Laplace, et comme nous venons de voir que M. Lenglet avait aussi cherché à le démontrer.

M. Angelot est conduit à regarder les autres planètes et les étoiles comme composées des mêmes éléments pondérables que la terre; et quant aux aérolithes, il les considère comme des fragments d'astres circulant dans l'espace et qui auraient été dérangés de leur course par l'attraction de la terre. On ne trouve dans les aérolithes aucun corps nouveau, et ils renferment les douze premiers des seize corps simples qui entrent comme éléments constituants dans l'écorce terrestre. La comparaison de la composition des météorites a fait voir que l'on pouvait les ranger dans trois classes; les uns étant principalement alumineux, les autres ne l'étant point, et ceux qui forment la troisième classe étant composés, plus ou moins exclusivement, de fer natif avec nickel, cobalt et chrome. La pesanteur spécifique de ces derniers est à peu près double de celle des premiers, et comme la pesanteur de la masse de la terre est aussi

Digitized by Google

double de celle des matières qui composent son écorce, M. Angelot regarde les masses métalliques comme pouvant être les noyaux de petits astres errants dont les autres aérolithes représenteraient la croûte, hypothèse que confirmerait encore la structure cristalline qui est différente dans les uns et les autres.

Il fait remarquer, en outre, que la ressemblance des aérolithes avec l'écorce terrestre n'existe pas seulement dans les éléments constituants des minéraux, mais encore dans les combinaisons de ces éléments, soit produisant des espèces chimiques binaires, soit des espèces minéralogiques plus ou moins compliquées, en un mot tous les éléments des roches principales qui forment la croûte de notre globe. Ainsi, après avoir montré, par une hypothèse générale, la cause et l'origine commune de tous les corps célestes, M. Angelot, s'étayant des faits observés plus directement, établit la très grande probabilité de leur identité, ou du moins la très grande analogie de leur composition avec celle de notre planète. On peut cependant faire observer à cet égard, que si la densité de la lune est $\frac{5}{9}$ de celle de la terre, il serait peut-être difficile d'admettre que notre satellite soit composé des mêmes éléments, étant surtout arrivé à un degré de refroidissement beaucoup plus avancé, si même il n'est pas complet.

Dans le dernier chapitre de ses *Études sur l'histoire de la terre* (1), M. F. de Boucheporn a présenté quelques aperçus sur une hypothèse qui consisterait à regarder les planètes comme ayant une origine tout à fait étrangère au soleil autour duquel elles se meuvent. Après avoir fait remarquer que, s'il y a concordance entre les grands mouvements des planètes, il y a au contraire discordance dans leur mouvement de rotation, lequel a lieu dans des plans équatoriaux, non seulement inclinés sur le plan de l'écliptique, mais encore formant avec lui tous les angles possibles, qu'en outre, les satellites, quoique se mouvant dans le même sens, offrent cette particularité que dans leur rotation ils présentent toujours la même face à leur planète respective, l'auteur conclut que les mouvements de ces satellites portent les caractères d'une loi générale, simple et uniforme, ce qui n'a pas lieu pour celui des planètes : aussi regarde-t-il le mouvement des premiers comme indiquant la manière d'être originaire et normale, et la diversité de celui des secondes comme la

(1) *Études sur l'histoire de la terre et sur les causes des révolutions de sa surface*, in-8, Paris, 1844, p. 378.

Digitized by Google

conséquence de leurs perturbations par suite de chocs qu'elles auraient éprouvés.

M. de Boucheporn rejette l'hypothèse de Laplace comme inadmissible, à cause de la difficulté de bien comprendre, d'une part, l'énorme expansion de la matière solaire qui devait embrasser l'orbite d'Uranus, et occuper un espace cent milliards de fois plus grand que celui qu'elle occupe aujourd'hui, et de l'autre, comment une zone de vapeurs circulaire a pu se réunir ensuite en un seul globule, les planètes étant isolées chacune sur leur trajectoire. Modifiant alors l'idée de Buffon, il a recours à l'action des chocs pour faire naître les satellites. « Ainsi, dit-il (p. 392), d'un cas particulier du choc » ressortent toutes les conditions de mouvement des systèmes de » satellites, comprenant en premier lieu la formation du système » planétaire lui-même. Ainsi, l'on comprendra que les planètes » puissent provenir d'une source commune et cependant étrangère » au soleil; que les plus denses soient les plus rapprochées de cet » astre; qu'elles décrivent dans le plan même de l'équateur solaire » des ellipses très peu excentriques; qu'enfin elles aient pu s'entourer d'une atmosphère oxygénée échappée au soleil même, et qui » aurait exercé sur elle l'action chimique que nous avons essayé » d'analyser pour la terre (voy. *posteà*). Toutes ces conclusions me » paraissent d'une rigueur suffisante pour justifier le principe du » choc dans sa généralité astronomique. »

Nous aurons occasion de revenir plus loin sur l'ouvrage de M. de Boucheporn, dont ce que nous venons de dire n'est en quelque sorte qu'un corollaire de son hypothèse appliquée plus particulièrement à la terre; aussi ferons-nous seulement remarquer qu'en regardant comme très difficile de comprendre l'ancienne extension de l'atmosphère solaire supposée par de Laplace, l'auteur n'a sans doute point songé qu'il y a des nébuleuses dont la nébulosité s'étend jusqu'à 150 rayons de l'orbite terrestre de l'étoile centrale, et que, si l'on supposait une de ces étoiles à la place de notre soleil, son atmosphère comprendrait non seulement l'orbite d'Uranus, mais s'étendrait encore huit fois plus loin.

La plupart de ces questions se représenteront d'ailleurs dans le chapitre suivant, où nous traiterons plus spécialement de la théorie de la terre, et nous nous bornerons à mentionner ci-après les ouvrages qui se rapportent d'une manière plus ou moins immédiate à la cosmogonie.

Digitized by Google

Appendice bibliographique.

URE. — *New system*, etc. Nouveau système de géologie dans lequel les révolutions de la terre et les êtres organisés sont mis en rapport avec la science moderne et avec les Écritures sacrées. Londres, 1834?

Christ. KAPP. — *Sur le premier âge de la terre* (en allemand) (*Neu. Jahrb.*, 1834, p. 151-204 et 353-300).

T. VIRLET. — *Idées nouvelles sur la nature des comètes et la formation de leur queue, les aérolithes, l'origine de la terre et des planètes, la formation des montagnes, les cratères de soulèvement*, etc. (*Bull.*, vol. VI, p. 212. — 1835).

G. H. DE SCHUBERT. — *Uber die Einheit*, etc. Sur l'unité de plan dans la formation de la terre. Discours académique. in-4, 25 p. Munich, 1835.

Christ. KEFERSTEIN. — Comment les résultats de la géologie scientifique s'accordent-ils avec l'histoire biblique de la création? (*Leterar. anzeig. fur christl. theolog. u. wissen. uberhaupt.* 1838).

MARCEL DE SERRES. — *De la cosmologie de Moïse comparée aux faits géologiques*, in-8, 1838. — 2ᵉ éd., 2 vol. in-8. Paris, 1841.

HARCOURT. — *The doctrine of the deluge*. La doctrine du déluge. Londres? 1838.

C. L. ALTHANS. — *Grundzuge*, etc. Principes pour une modification entière de la géologie actuelle, ou exposé succinct de l'origine des corps célestes et de la terre, in-12, 148 p., 3 pl. Coblentz, 1839.

A. PETZHOLD. — *Erdkunde* (géologie). *Ein versuch.*, etc. Essai sur l'origine de la terre et sur ses changements successifs jusqu'à nos jours, déduit nécessairement et naturellement de l'hypothèse d'une nébuleuse d'après de Laplace, in-8, 253 p., 1 tabl. Leipsick, 1840.

Daniel PAREL. — *Cosmologie physique, ou essai sur la cohésion appliquée à la théorie physico-chimique des principaux phénomènes de la nature*, in-8, 14 f., 2 pl. Grenoble, 1840.

J. PYE SMITH. — *On the relation*, etc. Sur la relation entre l'Écriture sainte et quelques parties de la géologie, 2ᵉ éd. Londres, 1840.

W. COCKBURN. — *The creation of the world*. La création du monde; adressé à M. Murchison. Londres, 1841.

BIBLICUS DELVINUS. — *A brief treatise of geology*. Traité succinct de géologie. Londres, 1841.

WATERKEYN. — *De la géologie et de ses rapports avec les vérités révélées*, in-8. Louvain, 1841.

L. A. CHAUBARD. — *L'univers expliqué par la révélation, ou essai de philosophie positive*, in-8, 2 pl. Paris, 1841.

Digitized by Google

P. Godefroi. — *Cosmogonie de la révélation, ou les quatre premiers jours de la Genèse mis en regard de la science moderne*, in-8. Paris.

Marcel de Serres. — *De la création de la terre et des corps célestes*, in-8. Paris, 1843.

L'auteur y reproduit l'hypothèse des nébuleuses, et rapporte les aurores boréales, les étoiles filantes, les aérolithes et les comètes aux divers états par lesquels a dû passer la matière nébuleuse. D'après M. Marcel de Serres, il se formerait encore dans les espaces de nouveaux systèmes par suite de la réduction de la matière nébuleuse, comme nous venons de rappeler que W. Herschel l'avait depuis longtemps indiqué; quant à la terre, elle serait arrivée, de même que tout le système dont elle fait partie, à un état stationnaire, après avoir passé par les diverses phases que présentent actuellement les véritables nébuleuses.

G. J. Mulder. — *Das streben der materie*, etc. La tendance de la matière à l'harmonie, in-8. Brunswick, 1844.

L'auteur, partant aussi de l'hypothèse des nébuleuses, arrive jusqu'au développement graduel et successif de l'organisme végétal, puis animal, dans les diverses périodes géologiques.

F. Klee. — *Le déluge. Considérations géologiques et historiques sur le dernier cataclysme du globe*. Éd. danoise, 1842. — Éd. allemande, 1843.—Éd. française, 1847. Seconde partie, p. 179.

Plusieurs autres ouvrages dans lesquels les auteurs ont émis des idées particulières, soit sur la cosmogonie, soit sur les rapports de la Genèse avec l'origine du globe et ses révolutions, seront mentionnés aux traités élémentaires ou généraux de géologie.

Digitized by Google

CHAPITRE II.

GÉOGÉNIE.

Les applications de la chimie et de la physique à la théorie de la terre sont devenues d'autant plus nombreuses que ces sciences elles-mêmes se généralisent davantage ; aussi trouvons-nous, dans la période qui nous occupe, beaucoup d'essais tentés pour remonter de l'état actuel du globe à son origine, et pour expliquer, par les lois qui nous sont connues, les phénomènes qui ont dû présider à sa formation et ceux qui l'ont amené à l'état où nous le voyons aujourd'hui.

Une théorie chimique de la terre, attribuée à l'un des physiciens les plus célèbres de notre époque, a été publiée en 1833 dans un recueil littéraire périodique (1) ; et comme elle a échappé à la profonde érudition de notre savant prédécesseur, le nom de son auteur nous fait un devoir de la rappeler ici.

L'hypothèse des nébuleuses est aussi le point de départ d'Ampère, et il regarde la terre comme ayant pu être un corps de cette nature, et à une température telle que la moins volatile des substances qui la composent demeurait à l'état liquide. Puis il conçoit théoriquement que, par suite du refroidissement, une première substance, simple ou non, est venue à se déposer, une seconde s'est déposée sur la première, et ainsi de suite, jusqu'à ce que les plus volatiles seules soient restées à l'état gazeux. De cette manière, ces substances se seraient déposées autour du noyau central, précisément dans l'ordre des températures auxquelles elles passent à l'état gazeux. Mais comme en réalité il n'en est pas ainsi, Ampère examine jusqu'à quel point cet ordre régulier peut avoir été troublé par les affinités chimiques qu'exerçaient les divers éléments constituant les roches. Suivant lui, ces réactions auraient donné lieu à des élévations de température, à des expansions, à des soulèvements et à de nouveaux

(1) A. M. Ampère, *Théorie de la terre.* (*Revue des deux mondes*, nº de juillet 1833. — *Edinb. new phil. jour.*, vol. XVIII, p. 339. 1835. — Bertrand, *Lettres sur les révolutions du globe*, 5ᵉ édition.)

Digitized by Google

composés. Des couches déjà solidifiées auraient été fondues une seconde fois, et un laps de temps considérable se serait écoulé avant que le centre du sphéroïde, alors moins échauffé que la surface, fût arrivé à être en équilibre de température avec cette dernière.

Ampère suppose que dans l'origine l'azote était combiné avec l'oxygène sous forme d'acide nitreux ou nitrique; et comme il aurait fallu huit ou dix fois plus d'oxygène qu'il n'en reste dans l'atmosphère, il admet que cet excédant a servi à l'oxydation des substances autrefois métalliques, et converties aujourd'hui en silice, alumine, chaux, oxyde de fer, etc. L'oxygène de l'atmosphère actuelle serait le reste de ce qui ne s'est pas combiné avec les corps combustibles, joint à celui qui a pu être expulsé des combinaisons dans lesquelles il entrait.

D'après cette manière de voir, les actions chimiques se seraient continuées dans la partie extérieure du globe, tant qu'il y est resté des fluides à condenser à sa surface par suite de l'abaissement de température, et tant que la croûte superficielle n'a pas été assez épaisse pour opposer une grande résistance à la manifestation au dehors des phénomènes chimiques qui se passaient au dedans, à une plus ou moins grande distance de cette surface. Le refroidissement de celle-ci, au lieu d'être graduel et continu, aurait donc éprouvé de temps à autre, par suite de ces réactions chimiques, des élévations rapides de température, dont la durée était subordonnée à celle du phénomène lui-même.

Les soulèvements successifs des chaînes de montagnes ne seraient plus alors que le résultat d'actions chimiques exercées par les dernières substances liquéfiées, mises en contact avec les substances déjà plus ou moins solidifiées, au moyen des crevasses résultant de mouvements antérieurs ou du retrait de la masse. Aujourd'hui, la température est tellement basse, qu'il n'y a plus à la surface de la terre, parmi les corps susceptibles d'agir chimiquement avec une certaine force, que l'eau qui soit restée à l'état liquide; et d'après cette théorie d'Ampère, ce serait le seul agent probable des cataclysmes futurs que pourrait éprouver notre globe.

En 1834 parut un ouvrage dont l'auteur, comme l'a dit M. Greenough (1), libre de toute influence et d'opinions préconçues, n'ayant en vue que d'acquérir et de communiquer des connaissances appro-

(1) *Address deliv. at the anniv. meet. of the geol. Soc. of London.* (*Proceed.*, vol. II, p. 170. 1835.)

Digitized by Google

fondies, de découvrir et d'exposer l'erreur, de prouver et d'établir la vérité, ne pouvait manquer d'être apprécié par les personnes qui s'occupent sérieusement de l'histoire de la terre. Les chapitres 1 et 2 des *Recherches sur la partie théorique de la géologie*, par M. de la Bèche (1), sont consacrés à la géogénie proprement dite et à l'explication des phénomènes qui s'y rattachent.

La grandeur et la simplicité, qui sont le caractère des œuvres de la création, portent l'auteur à penser que la matière des diverses planètes ne diffère pas essentiellement dans ses propriétés générales, et qu'il doit y avoir par conséquent un agent qui, contrebalançant dans chacune d'elles, mais d'une manière différente, les effets de la gravité, donne lieu à des densités différentes aussi. Cet agent peut être le calorique dont les propriétés connues répondent aux effets observés; et les différences de densité des planètes résulteraient de différences correspondantes dans l'intensité de la chaleur. Quelques planètes étant encore enveloppées d'une atmosphère, on est conduit à admettre que la matière peut y exister sous trois formes : à l'état solide, à l'état liquide et à l'état gazeux.

En regardant comme très probables les idées émises par de Laplace sur l'origine des corps célestes, idées appuyées, comme nous l'avons dit, par les observations de W. et J. Herschel sur les nébuleuses, M. de la Bèche (chap. II) recherche quel a pu être le résultat de l'antagonisme des deux forces opposées, l'attraction et le calorique, qui agissaient, l'une pour condenser la matière gazeuse, l'autre pour maintenir l'expansion de la masse ou l'écartement des molécules. Pour cela, il considère, à peu près, comme l'avait fait Ampère, l'effet du refroidissement sur les principales substances qui constituent les parties solides, liquides et gazeuses de l'écorce du globe, afin d'arriver à connaître jusqu'à quel point ces résultats seraient d'accord avec la distribution et la manière d'être actuelle de ces substances. Après avoir examiné ce qui a dû se passer dans les rapports et les combinaisons du chlore, de l'oxygène, de l'hydrogène, de l'azote, du soufre, du phthore, du phosphore et des vapeurs métalliques, au fur et à mesure du refroidissement, et cela par suite du rayonnement de la chaleur de la masse première gazeuse dans laquelle ces diverses substances ont pu être mélangées à l'origine, il fait voir qu'il a dû arriver un moment

(1) *Researches in theorical geology*, in-8. Londres, 1834. — Traduction française par M. H. de Collegno. Paris, 1838. Toutes les indications données pour la pagination se rapportent à cette traduction.

où il s'est formé une croûte solide oxydée, surmontée d'une enveloppe gazeuse. Celle-ci était en partie formée d'oxygène, et recouvrait une masse intérieure fortement chauffée, composée de substances métalliques à peine mélangées avec l'oxygène et les autres corps simples non métalliques.

Cette hypothèse s'accorderait à la fois, dit M. de la Bèche, avec la théorie de la chaleur centrale et avec celle de l'existence, au-dessous de l'écorce du globe, des bases métalliques de certaines substances, dont l'oxydation peut donner lieu aujourd'hui à plusieurs des phénomènes géologiques que l'on observe (1).

Passant ensuite à la forme de la terre, il fait voir (chap. II) que les molécules qui la composent ont dû, à l'origine, se mouvoir librement les unes par rapport aux autres, et que notre planète avait acquis la forme sphéroïdale avant que sa surface solide eût été corrodée par l'eau, et qu'elle eût pu supporter les détritus qui devaient s'y accumuler.

Si l'on examine, dit l'auteur (p. 5), la composition chimique de l'écorce de la terre qui nous est accessible, on est frappé de l'énorme volume d'oxygène qui entre, soit dans la composition de l'air et de l'eau, soit dans celle des roches solides. L'oxygène constitue à peu près les $\frac{20}{100}$ du volume de l'atmosphère, $\frac{1}{3}$ en volume des gaz qui forment l'eau, et il est contenu en quantité immense dans les diverses roches qui ne sont guère que des substances oxydées. Ainsi la silice constitue au moins $\frac{45}{100}$ de l'écorce minérale du globe; or étant composée, suivant M. Berzélius, de 48,4 de silicium et 51,6 d'oxygène, on concevra combien le volume de l'atmosphère serait augmenté, si l'oxygène contenu seulement dans la silice venait à reprendre son état gazeux, et à plus forte raison cet accroissement serait-il énorme, si ce même gaz se dégageait de tous les autres minéraux qui composent l'écorce de la terre, ainsi que des eaux qui sont à sa surface. Les proportions de l'hydrogène, de l'azote, du carbone, du soufre et du chlore, quoique très considérables encore, sont bien loin d'approcher de celle de l'oxygène. Les autres corps simples non métalliques, c'est-à-dire le phosphore, le bore, le sélénium, l'iode, le brome et le

(1) La théorie de la chaleur centrale a été vivement combattue par M. Greenough dans son discours annuel adressé à la Société géologique de Londres en 1834 (*Proceed.*, vol. II, p. 42). L'accroissement de la température avec la profondeur est la seule observation qui, suivant lui, appuierait cette théorie, toutes les autres pouvant être expliquées par diverses causes qui lui sont étrangères.

Digitized by Google

phthore, n'ont qu'une importance plus ou moins secondaire dans la masse connue de la terre.

Le silicium est la plus importante des bases métalliques des alcalis et des terres qui se trouvent à la surface du globe, puisque nous avons vu la silice constituer environ $\frac{45}{100}$ de la partie que nous connaissons. M. de la Bèche donne les mêmes détails sur l'aluminium, qui, après le silicium, est la plus répandue de ces bases métalliques; puis viennent dans l'ordre de leur importance le potassium, le sodium et le magnésium. Le calcium à l'état d'oxyde et combiné avec l'acide carbonique, qui paraît au premier abord si prédominant dans la nature, n'occupe cependant que le cinquième rang. On le rencontre d'ailleurs fréquemment sur les continents et dans les eaux, et il abonde surtout dans la partie moyenne et supérieure des terrains fossilifères, tandis qu'il est dispersé en très petite quantité dans les dépôts plus anciens et dans les eaux de l'Océan.

De tous les métaux dont les oxydes ne sont ni des alcalis ni des terres, le fer et le manganèse sont les plus importants à considérer. Ainsi le fer constitue à l'état d'oxyde un peu plus des $\frac{5}{100}$ des terrains stratifiés inférieurs et les $\frac{2}{100}$ de l'ensemble de l'écorce minérale. Le manganèse, quoique aussi très fréquent, ne formerait que 3 ou $\frac{4}{10000}$ seulement de la masse des roches; et les autres métaux, plus particulièrement en filons, n'entrent que pour une faible proportion dans ces mêmes roches.

M. de la Bèche range dans l'ordre suivant (p. 16), d'après leur degré d'importance, les principales substances qui entrent dans la composition chimique de notre planète :

Corps simples non métalliques.

1. Oxygène.	3. Azote.	5. Soufre.	7. Phthore.
2. Hydrogène.	4. Carbone.	6. Chlore.	8. Phosphore.

Bases métalliques des alcalis et des terres.

1. Silicium.	3. Potassium.	5. Magnésium
2. Aluminium.	4. Sodium.	6. Calcium.

Métaux dont les oxydes ne sont ni des terres ni des alcalis.

1. Fer. 2. Manganèse.

Ainsi seize des substances regardées jusqu'à présent comme des corps simples constituent, par leurs diverses combinaisons, sinon la

Digitized by Google

totalité, du moins de beaucoup la plus grande partie des matières gazeuses, liquides ou solides, organiques ou inorganiques, que nous voyons à la surface de la terre.

Nous ne connaissons point l'ouvrage de M. Boase (1), mais, d'après l'analyse qu'en a donnée M. Greenough (2), il nous paraît difficile que les idées de l'auteur sur la connexion entre les roches stratifiées et non stratifiées, prouvant leur origine commune et contemporaine, puissent être admises de la plupart des géologues, et il en serait de même de celles qu'a émises M. C. Gemellaro sur la formation de la croûte terrestre (3).

Le travail de M. Ladame (4) nous semble, au contraire, renfermer des considérations utiles à présenter en détail, quoique n'étant pas toutes nouvelles. L'auteur admet comme base de la théorie de la terre : 1° sa forme résultant du mouvement de rotation que prend une masse liquide; 2° la disposition régulière des masses qui la composent et la densité croissante de la surface au centre : faits qui sont démontrés par : *a*, la nutation de l'axe due au renflement du sphéroïde à l'équateur; *b*, les nombreuses observations de l'intensité de la pesanteur; *c*, la grandeur de l'aplatissement comparée à la durée de la rotation diurne, aplatissement qui est intermédiaire entre celui qui existerait, si la densité de la terre était la même dans toute la masse, et celui qui aurait lieu, si au contraire la densité croissait vers le centre, et qu'elle fût infinie en ce point; *d*, sa densité moyenne, supérieure à celle des couches superficielles, et annonçant une plus grande densité dans l'intérieur; circonstances qui ne peuvent, en général, s'appliquer qu'à des liquides se disposant d'une manière régulière dans l'ordre de leur densité autour d'un point central. La terre, dit M. Ladame, a donc été primitivement liquide, puisqu'elle présente ces conditions. Enfin cette fluidité primitive est encore appuyée par l'accroissement de température, lorsqu'on s'enfonce dans le sol, et par les preuves que nous avons que la chaleur de sa surface, à une époque antérieure à la nôtre, était plus élevée qu'elle ne l'est aujourd'hui.

---

(1) *Treatise on primary geology.* Traité de la géologie primaire. Londres, 1834

(2) *Address delivered*, etc. (*Proceed. geol. Soc. of London*, vol. II, p. 170. 1835.)

(3) *Bull.*, vol. VI, p. 2. 1834.

(4) *Mémoire sur la formation de la surface actuelle du globe.* (*Mém. de la Soc. d'hist. nat. de Neuchâtel*, vol. I, p. 149. 1836.)

Digitized by Google

Le globe à l'état liquide, se mouvant dans un milieu dont la température était au-dessous ou voisine de zéro, recevait inégalement, comme à présent, l'action des rayons solaires. La partie de l'équateur était de même alors celle où cette chaleur du soleil était la plus grande ; aussi les pôles commencèrent-ils d'abord à être recouverts d'une calotte solide ; puis les zones tempérées se solidifièrent, et enfin la zone torride elle-même se consolida. Le refroidissement et la consolidation continuant, lorsque toute la terre fut enveloppée d'une croûte résistante, cette dernière se trouva être le plus épaisse autour des pôles, et s'amincissait de plus en plus vers l'équateur. Aujourd'hui, d'après les calculs de l'auteur, l'écorce terrestre aurait environ 2,000 mètres de plus d'épaisseur aux pôles qu'à l'équateur, en admettant que l'accroissement moyen de la température en s'enfonçant, soit de 1° pour 32^{m},50, et qu'il y ait 60° de différence entre la température moyenne de l'équateur et celle des pôles.

A mesure que la surface perdait de sa chaleur propre, celle qu'elle recevait du soleil tendait à prendre plus d'influence ; aussi les phénomènes de la surface dans les premiers temps ont-ils dû avoir un caractère d'uniformité qu'ils ont perdu de plus en plus par la suite. En admettant qu'il en ait été ainsi, les régions polaires ont été les premières où la vie s'est manifestée, si toutefois l'absence de la lumière pendant une partie de l'année ne s'y est pas opposée. Des pôles, les végétaux d'abord, et ensuite les animaux, ont dû se propager vers les zones tempérées, et enfin envahir la bande équatoriale.

Si, continue l'auteur, à mesure qu'il se forme des dépôts à la surface par suite de l'action des agents extérieurs, il se développe à l'intérieur une tension due, soit à des phénomènes chimiques donnant naissance à des gaz ou à des solides qui occupent plus de volume que les liquides qui les ont formés, soit à un retrait de la croûte par suite de son refroidissement, la masse liquide intérieure tendra à sortir ; et comme dans les liquides les pressions se transmettent dans toutes les directions sans perte d'intensité, les points de la croûte placés sur la même surface de niveau seront également pressés du dedans au dehors, et la surface cédera là où la résistance sera moindre. La courbure de la terre étant le plus faible aux pôles, les soulèvements auraient dû s'y développer davantage ; mais la plus grande épaisseur en ces mêmes points s'y est opposée, et quant à la résistance de la croûte elle-même, on voit qu'elle dépendra de plusieurs éléments, tels que sa nature propre d'abord, son rayon

Digitized by Google

de courbure, son épaisseur, puis l'intensité de la gravité, etc.

M. Ladame établit ensuite, par des calculs, que les températures moyennes de l'année s'abaissent, en marchant vers le N., plus rapidement que ne pouvait le faire supposer la seule donnée de la diminution de l'intensité des rayons solaires relativement à leur inclinaison. En outre, l'été boréal correspond à l'aphélie, et l'hiver au périhélie, de sorte que les chaleurs de l'été et les froids de l'hiver sont tous deux atténués, circonstance qui élève, toutes choses égales d'ailleurs, la température moyenne de l'hémisphère nord, quoique l'inégale répartition des terres et des eaux dans les deux hémisphères soit une seconde cause bien plus importante de leur différence de température. Mais les éléments du mouvement de la terre n'étant pas constants, et le périhélie ayant un mouvement dans le plan de l'orbite, on voit que chaque hémisphère a dû jouir successivement des avantages dont jouit actuellement l'hémisphère nord, quant à la première des deux causes.

En tenant compte de la plus grande épaisseur de l'écorce terrestre vers les régions polaires, et des résistances en rapport avec l'énergie des pressions intérieures, l'auteur démontre plus loin que les soulèvements récents doivent avoir produit à la surface des reliefs plus prononcés et plus étendus dans les régions tropicales que vers les pôles. En outre, les marées intérieures ont pu soulever les premières couches résultant du refroidissement, et même les contrarier tant que la croûte n'a pas été assez solide pour atténuer leurs effets. Peut-être ces mêmes marées seraient-elles cause des difficultés que l'on éprouve à déterminer la forme exacte de la surface actuelle du globe, sujet sur lequel nous reviendrons en parlant des irrégularités de cette surface. Enfin les tremblements de terre et les éruptions volcaniques seraient peut-être encore des effets de ces marées, effets plus ou moins isolés, dénaturés, *irrégularisés* en quelque sorte par une foule de circonstances qu'il ne nous est pas permis d'apprécier.

M. Marcel de Serres a publié l'année suivante un mémoire sur cette question : *Les variations du plan de l'écliptique ne peuvent-elles servir à expliquer les faits qui se sont succédé à la surface du globe pendant les temps géologiques* (1) ? et M. D. Saull a donné un *Essai sur la coïncidence des phénomènes astronomiques et géologiques* (2),

(1) *Mém. de la Soc. roy. des sc.*, etc., *de Lille*, p. 113. 1836.
(2) *An Essay on the coincidence*, etc., in-8. Londres, 1836.

Digitized by Google

dans lequel il s'est attaché à démontrer que les changements de température survenus à la surface du globe résultent du déplacement des pôles, ou d'un cercle décrit par les extrémités de l'axe de la terre.

Quoique par son titre le mémoire de Poisson *sur la température de la partie solide du globe, de l'atmosphère et du lieu de l'espace où la terre se trouve actuellement* (1), se rapporte plutôt au chapitre II de la *seconde partie*, où nous traiterons de la température intérieure du globe, qu'à la géogénie proprement dite, l'hypothèse générale que l'illustre géomètre a proposée pour rendre raison de cette température, de même que les conséquences auxquelles elle peut conduire, nous ont engagé à donner, dès à présent, l'exposé de ce travail, qui n'est d'ailleurs, comme l'a dit lui-même l'auteur, qu'une sorte de résumé ou d'application de son ouvrage sur la *Théorie mathématique de la chaleur.*

Poisson s'est proposé de déterminer la température de la terre, à une profondeur et sur une verticale donnée, d'après la quantité de chaleur solaire qui traverse la surface à chaque instant. En général, les inégalités diurnes sont insensibles à un mètre de profondeur, et les inégalités annuelles disparaissent, comme on sait, à une vingtaine de mètres. Vers le milieu de cette distance, ces dernières se réduisent à l'inégalité dont la période comprend l'année entière. Ainsi, à 6 ou 8 mètres de profondeur, la température n'offre pendant l'année qu'un maximum et un minimum arrivant à six mois l'un de l'autre, et après les époques de la plus grande et de la moindre chaleur solaire. Au-delà de 20 mètres environ, la température ne peut plus éprouver que des variations séculaires que l'on n'a pas encore observées.

Sur chaque verticale, le maximum des inégalités se propage uniformément avec une vitesse qui dépend de la nature du terrain. Sous l'équateur, la température doit être à peu près constante à une profondeur beaucoup moindre qu'en tout autre lieu, résultat qui, comme nous le verrons, a été vérifié par des expériences directes.

Après avoir cherché l'intensité moyenne de la chaleur solaire pour un point donné du globe pendant l'année entière, et rapportée aux unités de temps et de surface, Poisson détermine la hauteur d'une couche d'eau recouvrant la surface de la terre, et dont la chaleur solaire pourrait élever la température de 1°, de même que l'épaisseur d'une couche de glace que cette température pourrait fondre, c'est-

(1) *Compt.-rend.*, vol. IV, p. 137. 1837. — Traduc. anglaise (*Amer. Journ.*, vol. XXXIV, p. 57. 1838).

à-dire environ 7 à 8 mètres (1). Par le rayonnement à travers sa surface, la terre envoie chaque année au dehors une quantité de chaleur égale à celle qu'elle a reçue du soleil et qu'elle a absorbée. Cet équilibre a lieu pour la surface entière du globe et à très peu près pour chaque point en particulier.

Quoique l'influence solaire et ses variations (p. 143) ne soient plus sensibles à la profondeur de 20 mètres, cette influence ne s'arrête pas à cette limite ni à aucune autre, et, dans un temps suffisamment prolongé, elle a dû pénétrer dans la masse intérieure de la terre et jusqu'à son centre. Nous ne connaissons point les calculs qui ont conduit Poisson à cette dernière proposition, qui paraît être la base de l'idée qu'il développe plus loin ; mais nous ferons remarquer qu'elle est en contradiction avec la précédente, car si l'absorption est égale seulement à l'émission, comme nous venons de le dire, on ne voit pas ce qui peut rester de chaleur pour continuer à marcher vers le centre, et les six mois que les variations annuelles embrassent, soit pour le flux de chaleur ascendant, soit pour le flux descendant, marquent nécessairement un point, plus ou moins éloigné de la surface, où l'action extérieure devient nulle; la périodicité supposée exacte et inverse même du phénomène s'oppose à sa manifestation indéfinie dans un seul des sens où il se produit. Nous reviendrons d'ailleurs sur ce sujet en prenant en considération un élément important qui a été négligé.

Poisson démontre ensuite la coïncidence presque parfaite entre la température de la surface même du globe et celle que marque un thermomètre placé au-dessus de cette surface, coïncidence qui n'existe que pour les températures moyennes. Pour Paris, la température moyenne de l'air est 10°,822 et celle du sol 10°,511 ; mais, pour les températures de chaque instant, elles suivent des lois très différentes pour la surface et pour l'air.

Près de la surface, la portion de la température moyenne due à la chaleur solaire varie avec l'obliquité de l'écliptique. Cette inégalité séculaire est accompagnée, comme les inégalités diurnes et annuelles, d'une variation dans le sens de la profondeur, que l'on ne peut évaluer exactement, faute de connaître l'expression de l'obliquité en fonction du temps ; mais les variations qui en proviennent ne peuvent être que pour fort peu de chose dans l'accroissement de température des lieux profonds. En attribuant, avec Fourier et de Laplace,

(1) On verra plus loin que M. Pouillet a déduit de ses calculs un chiffre beaucoup plus élevé.

Digitized by Google

cette augmentation à la chaleur initiale du globe, Poisson trouve qu'à la profondeur seulement de $\frac{1}{100}$ du rayon, la température serait aujourd'hui de 2,000°, et qu'elle dépasserait au centre 200,000°; aussi s'attache-t-il, dans sa théorie mathématique de la chaleur, à démontrer les difficultés qui doivent, suivant lui, faire rejeter cette idée de l'existence actuelle de la chaleur initiale, et à faire voir que depuis longtemps la terre doit avoir perdu celle qu'elle possédait à son origine.

En partant de cette hypothèse de Laplace, que nous avons déjà rappelée plusieurs fois, savoir, que les planètes peuvent être des portions de l'atmosphère solaire, qu'elle a successivement abandonnées en se concentrant vers cet astre, les molécules de la terre, à un certain moment, se sont trouvées soumises à leur attraction mutuelle en raison inverse du carré des distances; et de cette force il est résulté, sur toutes les couches de la masse fluide, une pression croissant de la surface au centre. Vers ce même centre, elle a dû être très grande et dépasser peut-être cent mille fois la pression atmosphérique actuelle. D'après Poisson, ce serait cette pression croissante, et non une température extérieure beaucoup moindre que celle du fluide, qui aurait fait passer successivement toutes ces couches à l'état solide, en commençant par celles du centre et continuant de proche en proche jusqu'à ce qu'il ne soit plus resté que les matières qui forment aujourd'hui la mer et l'atmosphère. Mais cette réduction n'a pas été instantanée, et le temps qu'elle a exigé a suffi, d'après l'auteur, pour que: « eu égard à la vitesse presque infinie » du rayonnement, les couches, en se solidifiant l'une après l'autre, » aient dû perdre toute la chaleur développée pendant leur chan- » gement d'état, et qui s'en est échappée sous forme rayonnante, » à travers les couches supérieures encore à l'état de vapeur; en sorte » qu'il ne reste plus, ni à l'époque actuelle ni depuis bien longtemps, » aucune trace de cette quantité de chaleur, quelque grande qu'elle » ait pu être. »

Cela posé, Poisson attribue la cause de l'élévation de température dans les lieux profonds à l'inégalité de température des régions de l'espace que la terre traverse, en s'y mouvant avec le soleil et tout le système planétaire (1). La température d'un point quelconque de l'espace est produite par la chaleur rayonnante qui vient s'y croiser

(1) On sait que le mouvement général actuel de notre système paraît être dirigé vers la constellation d'Hercule.

Digitized by Google

en tous sens, et qui émane des différentes étoiles; or, cette température ne devant pas être la même partout, mais aussi ne pouvant être très différente que sur des points fort éloignés les uns des autres, on conçoit que, dans l'étendue du déplacement annuel de la terre, la température de l'espace sera sensiblement égale, tandis que celle des régions éloignées, que parcourt tout notre système planétaire dans son mouvement général, ne sera pas constamment la même, et toutes les planètes éprouveront des variations correspondantes de température. Mais la terre, vu la grandeur de sa masse, en passant d'un milieu plus chaud dans un milieu plus froid, n'aura pas perdu, dans la seconde région, toute la chaleur qu'elle avait prise dans la première; elle devra donc présenter, comme on l'observe en effet, une température croissante à partir de sa surface, et l'inverse aura lieu en passant d'une région froide dans une région chaude.

Sans connaître ni les grandeurs ni les périodes de ces variations de température, Poisson conçoit qu'elles peuvent s'étendre jusqu'à une certaine profondeur, sans toutefois atteindre le centre. Mais ici se trouve une seconde contradiction avec la proposition que nous avons déjà combattue, savoir : que la chaleur solaire annuelle pouvait descendre jusqu'au centre de la terre. Dans cette supposition, en effet, comment refuser, toutes choses égales d'ailleurs, à une cause certainement bien plus que séculaire, un résultat que l'auteur attribue à une cause annuelle et même seulement semi-annuelle?

Pour indiquer comment ces inégalités doivent influer sur la température de la couche extérieure du globe, Poisson fait remarquer que, dans cette théorie, la température moyenne de la superficie varie avec une lenteur extrême, mais incomparablement moindre cependant que la portion de la température qui serait due à la chaleur initiale du globe, si elle était encore sensible à l'époque actuelle. De plus, cette variation est alternative et peut ainsi, dit-il, concourir à l'explication des révolutions que la couche extérieure de la terre a éprouvées. Suivant lui, la fraction de $\frac{1}{30}$ de degré, que la surface tire aujourd'hui de la chaleur initiale, exigerait pour se réduire de moitié un laps de 1,000 millions de siècles, et que serait-ce alors pour remonter à une époque où la température aurait été assez considérable pour influencer les phénomènes géologiques? Mais on a vu précédemment que ce grand géomètre regardait la température initiale comme complétement perdue, ce qui s'accorderait peu avec le temps nécessaire, suivant lui, pour une diminution de $\frac{1}{60}$ de degré. Enfin, appliquant ses calculs à la température de l'atmosphère et à celle des espaces

Digitized by Google

célestes, Poisson trouve que cette dernière est supérieure à celle des pôles de la terre, au lieu de s'abaisser à —50° ou —60°, comme l'avait établi Fourier.

L'hypothèse que nous venons d'exposer, malgré le nom de son auteur et les calculs sur lesquels elle s'appuie, ne répond point aux conditions qu'exigent aujourd'hui non seulement la géologie, mais même la physique et l'astronomie; car elle est basée sur une série de suppositions purement gratuites. M. de la Rive (1) a d'ailleurs combattu, beaucoup mieux que nous ne pourrions le faire, quelques uns des résultats de Poisson, et en particulier l'hypothèse finale dont s'est servi M. Renoir pour étayer la théorie des anciens glaciers (2).

Dans sa thèse présentée à la Faculté des sciences, M. Daubrée (3) s'est aussi occupé des théories et des opinions émises sur la température du globe et sur les principaux phénomènes géologiques qui paraissent être en rapport avec la chaleur propre de la terre. Il a opposé les résultats de Poisson à ceux de Fourier et à ceux de M. Pouillet dont nous parlerons plus loin; et sans se prononcer à leur égard, il a fait voir cependant que les hypothèses basées sur les inégalités de température des régions traversées par la terre devaient répondre à cette exigence, que la température des régions chaudes a dû être telle, qu'elle ait pu fondre toutes les roches qui composent la croûte extérieure du globe. A cet effet, il faut concevoir d'abord des parties de l'espace où un très grand nombre de rayons stellaires viennent se croiser, comme cela, dit-il, peut avoir lieu peut-être dans la voie lactée (4), ensuite, que leur étendue soit telle, que la terre ait pu mettre plusieurs milliers d'années pour tra-

---

(1) *Bibl. univ. de Genève*, vol. LX, p. 279 et 415. Une critique de ces mêmes idées géogéniques a été publiée dans les *Annales de Poggendorff*, vol. XXXIX, p. 93-100.

(2) *Bull.*, vol. XI, p. 64 et 150. 1840. Dans cette note, l'auteur suppose aussi que, par suite de la résistance opposée aux planètes par le milieu dans lequel elles se meuvent, elles doivent tendre à se rapprocher continuellement du soleil, en décrivant des spires infiniment rapprochées, au lieu d'une courbe fermée. M. Fauverge (*Bull.*, vol. XII, p. 308) a fait voir combien était peu admissible cette hypothèse contraire aux lois connues qui régissent les corps célestes.

(3) Brochure in-8. Paris, 1838.

(4) Ce qui serait peu probable, si, comme l'a supposé de Laplace, notre système fait partie d'une immense nébuleuse représentée par la voie lactée elle-même (*Exposition du système du monde*, vol. II, p. 402-403).

Digitized by Google

verser cette zone torride céleste, et que sa surface ait pris une température peu différente de celle de l'espace; et, enfin, les phénomènes géologiques doivent faire admettre que la température stellaire s'est abaissée rapidement à partir du maximum, pour arriver à une valeur qui depuis lors n'a diminué que très lentement. Suivant M. Daubrée, l'hypothèse de Poisson et celle de Fourier, qui diffèrent totalement pour l'époque initiale de la formation de la terre, et nous ajouterons pour son mode de refroidissement, peuvent être ramenées à une sorte de concordance lorsqu'on ne remonte pas au-delà du domaine de la géologie proprement dite.

Nous dirons cependant que l'hypothèse de Poisson est bien plus compliquée que celle de Fourier, puisqu'elle suppose : 1° que les molécules de la terre étaient à l'état de gaz, qu'elles sont passées à l'état liquide, puis à l'état solide, par suite de l'attraction, et cela du centre à la circonférence; de telle sorte que le refroidissement aurait eu lieu inversement des lois ordinaires, car il est difficile d'admettre, malgré l'effet de la pression et de l'attraction, que les molécules solides du centre, à un moment donné, se soient trouvées à une température plus élevée que les molécules encore liquides et gazeuses de la surface; 2° que le globe, complétement solidifié, a dû être emporté dans une partie de la sphère céleste, où la température était telle, que la surface a été complétement fondue jusqu'à une grande profondeur. Or, cette hypothèse n'est-elle pas bien gratuite, lorsque nous pouvons à peine apprécier la distance des étoiles, même les plus rapprochées de nous? 3° Enfin, il faut admettre que la température de notre système planétaire, de retour dans des régions plus tempérées ou froides, s'est abaissée de nouveau, et que c'est à partir de ce second refroidissement que commence l'ère de la géologie. Nous préférons donc la simplicité de la première hypothèse, contre laquelle les objections de Poisson ne nous semblent pas aussi fortes qu'il a pu le croire. Nous ferons voir d'ailleurs bientôt, d'après les calculs d'un autre mathématicien, que les lois de la propagation de la chaleur ou celles du refroidissement dans une masse telle que la terre, composée d'éléments divers et à divers états, ne sont pas assez connues pour conduire à une solution un peu rigoureuse, lorsqu'on tient compte de tous les éléments de la question. Si notre illustre compatriote a été effrayé du nombre d'années qu'il faudrait pour que la température initiale arrivât à l'état actuel, c'est qu'il n'a pas pu apprécier le laps de temps qui a dû s'écouler seulement pour la formation des terrains de sédiment anciens qui atteignent jusqu'à

Digitized by Google

14,500 mètres d'épaisseur. Et qu'est-ce encore, si l'on y ajoute tous les schistes cristallins qui les ont précédés et tous les dépôts secondaires et tertiaires qui les ont suivis? Si déjà, dans le domaine de la géologie, nous n'avons que des chronomètres relatifs, et dont nous ne pouvons comparer la marche avec ceux qui marquent nos jours et nos années, au-delà, à bien plus forte raison, toute appréciation exacte du temps nous est-elle rigoureusement interdite.

Nous mentionnerons ici un mémoire adressé à l'Académie des sciences par M. Ducis (1), et qui avait pour but la critique de l'opinion de Poisson, qui assignait à la limite de l'atmosphère, comme condition nécessaire, l'existence d'une couche liquide terminant la masse gazeuse, la liquéfaction de l'air devant résulter d'un froid intense, et la couche ainsi produite se maintenir d'une épaisseur suffisante pour que son poids fît équilibre à la force élastique des couches inférieures de l'air. L'argumentation de M. Ducis nous est restée inconnue, mais il est probable que son auteur ignorait les objections déjà faites à cette même opinion par M. de la Rive dans l'article que nous avons cité.

A partir de 1837, époque à laquelle M. W. Hopkins communiqua à l'*Association britannique pour l'avancement des sciences* le commencement de ses *Recherches sur la géologie physique* (2), ce savant a publié successivement plusieurs mémoires dont nous allons rendre compte. Les aperçus nouveaux qu'on y trouve sur la théorie de la terre, le grand nombre de calculs auxquels l'auteur s'est livré à ce sujet et l'extrême réserve qu'il a mise dans ses conclusions, méritent une attention particulière.

Dans la première série de ces recherches (3), M. Hopkins, avant d'entrer en matière, fait remarquer qu'il y a pour les corps deux modes distincts de refroidissement; l'un pour les corps solides ou imparfaitement fluides, et qu'il nomme *refroidissement par conduction;* l'autre pour les masses dans un état de fluidité tel, que les particules composantes peuvent se déplacer et se mouvoir entre elles, c'est le *refroidissement par circulation* ou par *évection*. Les lois du premier mode sont assez connues, mais il n'en est pas de même de celles du second. A l'origine du globe, alors qu'il était dans un état

(1) Séance du 14 mars 1842. — *L'Institut*, 17 mars 1842.

(2) *Report*, 7ᵉ *meet. brit. assoc. at Liverpool*, vol. VI, p. 92. Londres, 1838.

(3) *Researches in physical geology*. First-series (*Philos. transac. of the r. Soc. of London* pour 1839, part. II, p. 381).

de fluidité parfaite, le premier refroidissement a eu lieu par circulation, et le changement de ce premier mode dans le second a dépendu de certaines conditions.

Si, d'une part, la tendance à se solidifier par le refroidissement diminue de la circonférence au centre, de l'autre, la tendance à se solidifier par la pression augmente dans le même sens; mais les lois de ces deux phénomènes étant peu connues, M. Hopkins déduit seulement de cette proposition, que si l'augmentation de température, en s'enfonçant dans la masse, est assez rapide pour s'opposer à la solidification que tend à déterminer la plus grande pression, il y aura propension vers un état imparfaitement fluide de la masse, et ensuite vers sa solidification dans ses parties supérieures; tandis que si c'est la pression qui l'emporte, le passage de la fluidité parfaite à l'état de fluidité imparfaite et enfin la solidification commenceront par le centre.

Dans le premier cas, il n'y aura solidification de la croûte externe que lorsque toute la masse sera à un état imparfaitement fluide; car, jusque-là, il y aura toujours circulation; et celle-ci devra cesser presque en même temps dans toute l'étendue de la masse, laquelle commencera alors à se refroidir par conduction, très rapidement à la surface et très lentement à l'intérieur, à cause du peu de conductibilité des roches. Nous ne savons point encore l'épaisseur probable de la croûte terrestre, dans l'hypothèse de sa fluidité primitive, ne connaissant pas l'influence d'une haute température pour résister à la solidification, comparée ou opposée à celle d'une grande pression qui la déterminerait; seulement, l'état actuel de la surface du globe permet d'admettre l'existence d'une croûte solide, dont l'épaisseur est très petite relativement au rayon.

Dans le second cas, celui où la pression vers le centre l'emporterait sur la température, le refroidissement par conduction commencerait par le centre, tandis que les parties supérieures se refroidiraient encore par circulation, et cela dans le même temps. Mais on conçoit que le premier mode tendra à gagner sur le second, qui cessera dès que toute la masse externe ne sera plus parfaitement fluide. La partie superficielle se refroidira alors très rapidement; une croûte externe se formera et s'accroîtra de haut en bas, bien plus vite que la solidification n'aura lieu au-dessus du noyau central antérieurement consolidé. Le globe pourra donc être composé d'une enveloppe solide et d'un noyau central également solide, séparés l'un de l'autre par la matière fondue, mais moins fluide que celle qui pouvait exister vers le centre dans la première hypothèse. Quant à

Digitized by Google

l'épaisseur de la croûte externe, elle pourra être, comme dans le premier cas, très faible relativement au rayon. Mais dans l'état actuel de nos connaissances, dit M. Hopkins, il n'est pas possible de prononcer si la croûte externe et le noyau solide sont à présent réunis, ou s'ils sont encore séparés par la matière en fusion.

Ainsi, tout en admettant avec Poisson que la solidification a pu commencer par le centre, le savant professeur de Cambridge est loin de penser que la surface s'est solidifiée la dernière, car il est évident que l'encroûtement a dû se produire à la surface avant que toute la partie interne fût devenue solide, distinction que M. Hopkins considère comme très importante pour l'explication des phénomènes géologiques subséquents. En résumé, si l'on regarde le globe comme ayant été originairement à l'état de fluidité parfaite, on ne peut pas, dit-il, arriver encore à des conclusions plus précises que les suivantes :

1° Le globe peut être formé d'une enveloppe extérieure solide et d'une masse interne dont la fluidité est la plus grande au centre. L'épaisseur de l'enveloppe peut être très faible comparée au rayon, et la fluidité au centre approcher de celle qui admet le refroidissement par circulation ;

2° Le globe peut être formé d'une enveloppe extérieure solide et d'un noyau central également solide, séparés l'un de l'autre par une matière en fusion. L'épaisseur de la croûte et le rayon du noyau solide peuvent être très faibles eu égard au rayon de la terre, et la fluidité de la masse intermédiaire est alors beaucoup moindre que celle qui permet le refroidissement par circulation ;

3° Enfin, la terre peut être solide de la surface jusqu'au centre.

L'observation directe du mode de refroidissement du globe, en lui supposant une origine fluide ignée, nous laisse donc encore très incertain sur l'état actuel de sa partie centrale. Cette incertitude résulte, non de l'imperfection de la partie mathématique des recherches, mais du manque de détermination expérimentale de valeurs qu'il sera toujours très difficile, sinon impossible, de déterminer avec exactitude.

M. Hopkins recherche ensuite si l'on ne trouverait pas des preuves de la fluidité centrale dans les phénomènes de la précession et de la nutation, car l'action directe des forces qui les produisent doit être très différente sur la partie interne, suivant que celle-ci est solide ou liquide. On a démontré que ces phénomènes étaient d'accord avec la solidité interne supposée dans certaines hypothèses rationnelles relativement à la loi de densité, mais ils ne paraissent pas avoir été

Digitized by Google

étudiés relativement à la fluidité interne supposée, et c'est ce problème dont l'auteur s'occupe particulièrement. Après avoir appliqué successivement l'analyse à l'attraction du soleil sur la croûte solide, comme à celle de la lune, puis à la pression exercée intérieurement sur les parois de la croûte par la masse fluide soumise à l'attraction solaire et lunaire, et enfin à la force centrifuge, il considère la tendance des forces agissant sur le fluide interne pour le mettre en mouvement, et trouve qu'en réalité les actions du soleil et de la lune ne déterminent point cette tendance, et que l'axe de rotation instantané du fluide interne sera exactement semblable à celui de la croûte, et de même ordre. Enfin, il arrive (pag. 413) à ces autres conclusions :

1° Quelle que soit l'épaisseur de l'enveloppe, la précession sera la même que si toute la terre était homogène et solide ;

2° La nutation lunaire sera la même que pour un sphéroïde homogène, et à un tel degré d'approximation que la différence est inappréciable à l'observation ;

3° La nutation solaire sera aussi sensiblement la même que pour le sphéroïde homogène, à moins que l'épaisseur de la coque ne soit très approchée d'une certaine valeur un peu moindre que 1/4 du rayon terrestre, auquel cas cette nutation deviendra beaucoup plus grande que pour le sphéroïde solide ;

4° Outre ces mouvements de précession et de nutation, le pôle de la terre aurait un petit mouvement circulaire dépendant entièrement de la fluidité intérieure. Le rayon du cercle ainsi décrit serait le plus grand lorsque l'épaisseur de l'écorce serait la moindre, mais l'inégalité ne pourrait excéder, pour la plus faible épaisseur de l'écorce, une quantité de même ordre que la nutation solaire.

Dans un second mémoire (1), M. Hopkins a traité la même question en supposant l'intérieur de la terre fluide et hétérogène, ou mieux, le fluide interne et l'écorce comme étant des corps de nature différente. Parmi les problèmes qu'il a examinés se trouve celui de la permanence de l'inclinaison de l'axe de la terre, depuis la première formation de la croûte, et en admettant que la solidification ait commencé par la surface.

Enfin, dans la troisième série de ses recherches (2), l'auteur s'occupe de l'épaisseur et de la constitution de la croûte terrestre, et en

---

(1) *Philos. transac. of the r. Soc. of London.* 1840, part. I, p. 193.
(2) *Ibid.* 1842, part. I, p. 43.—*An. des sc. géol.*, vol. I, p. 523 — *L'Institut*, n° 441.

Digitized by Google

particulier du minimum d'épaisseur compatible avec la valeur de la précession observée. Dans le cas de la terre, le passage de la partie fluide à la partie solide n'est pas immédiat, comme il l'avait d'abord supposé. Si l'on considérait comme fluide toute la masse qui n'est pas parfaitement solide, ou comme solide toute celle qui n'est pas parfaitement fluide, on donnerait une trop faible ou une trop grande épaisseur à la croûte ; aussi M. Hopkins admet-il une surface d'égale fluidité, ou si l'on veut d'égale solidité, intermédiaire aux deux surfaces de parfaite solidité et de parfaite fluidité, et telle que, si tout ce qui est au-dessus était parfaitement solide et tout ce qui est au-dessous complétement fluide, la précession et la nutation seraient les mêmes que dans le cas où le passage de la solidité de la croûte à la masse fluide interne serait graduel et continu. Il nomme cette surface, *surface effective interne*, et sa distance à la surface extérieure, *épaisseur effective de la croûte*.

Le degré de solidité et de fluidité d'un point quelconque de l'intérieur du globe dépend en partie de sa température et de la pression qui s'y exerce, et après avoir indiqué, d'une manière relative, la surface de même fluidité ou solidité passant par ce point, M. Hopkins fait voir que la détermination des formes des surfaces isothermes à l'intérieur du sphéroïde est entièrement approchée lorsque l'ellipticité est petite, et le temps pendant lequel le refroidissement a lieu est très grand, comme on peut le supposer pour la terre.

Il déduit de la marche analytique du problème, qu'il faudrait descendre à une profondeur égale à environ 1/5 du rayon terrestre avant d'arriver à la surface d'égale fluidité avec une ellipticité de la valeur exigée, c'est-à-dire que l'épaisseur effective de la croûte doit être égale à 1/4 ou 1/5 au moins du rayon terrestre pour que la précession ait la valeur observée.

Ce résultat de calculs assez compliqués fait penser à l'auteur qu'il n'y a point, comme on l'a supposé, de communication entre les orifices volcaniques et la surface du noyau fluide interne, et que la matière fondue des volcans actuels se trouve dans des réservoirs d'une étendue limitée, constituant des lacs souterrains, mais non un véritable océan. Il attribue à la même cause la plupart des grands soulèvements reconnus, excepté peut-être le plus ancien, car à l'époque de ces divers soulèvements la croûte terrestre était déjà d'une énorme épaisseur. Cette supposition de lacs souterrains ignés, à une faible profondeur, s'accorde d'ailleurs avec les recherches fondées sur les principes de la mécanique pour les phénomènes d'élé-

Digitized by Google

vation, tels qu'il les a donnés dans son *mémoire sur la géologie physique* (1), et dont nous parlerons en traitant de la théorie des failles, des fissures et des soulèvements. Ces parties fluides, placées au milieu de la croûte solide, de même que leur permanence dans cet état, seraient dues à une plus grande fusibilité de la matière qui les constitue.

Comme conséquence de ses mémoires précédents, M. Hopkins insiste de nouveau sur la permanence de l'inclinaison moyenne de l'axe terrestre, sur le plan de l'écliptique (pag. 53), en faisant remarquer que les preuves de cette permanence n'avaient été jusqu'alors basées que sur l'hypothèse de la solidité entière du globe, présomption qui, quel que soit l'état actuel de notre planète, ne peut jamais être admise comme nécessairement applicable à toutes les époques antérieures à l'existence des êtres organisés à sa surface. Mais cette proposition étant démontrée vraie, en l'appliquant à la terre depuis l'origine de son enveloppe externe solide, doit faire regarder comme essentiellement fausse toute hypothèse établie sur le changement de position de l'axe de la terre, soit que l'on suppose l'intérieur avoir été solide et fluide, soit qu'on le suppose encore tel aujourd'hui.

Plus loin, l'auteur démontre que quand même la pression des éléments de la terre ne serait pas telle qu'il en résultât la solidification d'une partie de la masse, la conclusion relative à l'épaisseur de la croûte terrestre serait encore vraie *à fortiori*. Ainsi, la détermination de la dernière limite à cette épaisseur est indépendante de l'effet inconnu de pression, ou, en d'autres termes, de la détermination expérimentale des températures de fusion, pour différentes substances sous de hautes pressions.

Il a fait voir également que la température actuelle de l'intérieur de la terre ne peut être due à sa chaleur originaire, si la température de fusion pour la matière est indépendante de la pression à laquelle la matière fondue est soumise; car dans ce cas elle doit être sans doute suffisante à la profondeur de 1/4 ou 1/5 du rayon terrestre pour fondre toutes les roches de la partie solide sous la pression de l'atmosphère; par conséquent, à ces profondeurs, la matière serait à l'état de fusion, et la croûte de la terre devrait être

---

(1) *Researches in physical geology.* Recherches sur la géologie physique (*Transac. of the Cambridge Phil. Soc.*, vol. VI, p. 1. 1835-1836).

Digitized by Google

très mince à moins que la solidification n'ait été déterminée par la pression; or, comme M. Hopkins a prouvé que cette croûte ne pouvait être très mince, il en résulte que sa proposition est démontrée, c'est-à-dire que la température de fusion est dépendante de la pression à laquelle elle est soumise.

Nous n'avons pu faire connaître que très succinctement les principaux points de la question à laquelle M. Hopkins a appliqué les calculs très variés de l'analyse, et quelques uns des résultats qu'il en a déduits, mais ils suffiront peut-être pour indiquer la voie dans laquelle il s'est engagé, et que nous désirerions voir suivie par les personnes qui, familiarisées comme lui avec le mécanisme des formules, le sont également avec toutes les données de la physique expérimentale et les résultats de la géologie moderne. Les conclusions de l'auteur sont sans doute encore plutôt négatives que positives, mais elles témoignent du désir de chercher la vérité avec une extrême bonne foi, et sont beaucoup plus utiles que ces hypothèses hardies et tranchantes basées sur des éléments incomplets et qui s'écroulent devant le plus simple bon sens. M. Hopkins, dans ses applications directes des mathématiques à certains pays affectés par l'action des forces souterraines, et dont nous aurons occasion de parler, a fait voir quel parti on pouvait tirer de ce mode de recherche, lorsqu'on possédait également bien et sans idée théorique préconçue tous les éléments d'un problème, à quelque ordre d'idées ou de faits qu'ils appartiennent.

M. Gustave Herschel a publié, *sur le refroidissement primitif du globe* (1), une notice dans laquelle il attribue une grande influence aux diverses manifestations du fluide électrique. Ainsi, il trouve la cause du développement de la chaleur qui a dû contribuer à la formation de la terre, tant dans le passage de la matière élémentaire à un état d'agrégation plus dense, que dans les réactions provoquées par les différences électro-chimiques que nous offre la matière. La terre, suivant lui, serait restée longtemps dans l'état d'incandescence et de fluidité, le rayonnement de la chaleur n'ayant pu se faire seulement qu'à travers l'atmosphère de vapeurs et de gaz qui l'enveloppaient alors. Le refroidissement et la consolidation de la croûte terrestre auraient commencé par les pôles comme nous avons vu que l'avait admis M. Ladame. Le refroidissement de l'atmosphère aux

---

(1) *Neu. Jahrb.*, n° 4. 1841.— *An. des sc. géol.*, vol. I, p. 405. — *L'Institut*, 16 juin 1842. — *L'Écho*, 31 juillet 1842.

Digitized by Google

extrémités de l'axe aurait occasionné un flux continuel des couches d'air et des masses de vapeurs vers les régions polaires, d'où serait résultée la précipitation d'énormes masses d'eau qui ont dû s'écouler ensuite vers les régions équatoriales. Mais l'auteur attribue à ces actions des conséquences que nous ne pouvons admettre, telles que l'aplatissement du sphéroïde et la dispersion des blocs erratiques; effets dus à des causes entièrement distinctes, et qui sont séparés dans le temps par tout ce que l'on peut appeler la vie inorganique et organique de la terre, car l'un est antérieur même à sa première consolidation, et l'autre a précédé immédiatement l'état actuel des choses.

Le dérangement d'équilibre de température produisant des phénomènes thermo-électriques, M. G. Herschel en conclut que le refroidissement de la terre et sa solidification ont dû être le principe des développements d'électricité les plus importants. Ces tensions électriques auraient été les plus faibles là où le rayonnement était à son minimum et la température de la masse du sol la plus élevée. Ainsi, c'est aux pôles qu'elles devaient atteindre leur maximum et qu'elles se sont maintenues, puis elles diminuent vers l'équateur, et les courants électriques actuels seraient une conséquence du mouvement de rotation de la terre, combiné avec la chaleur solaire qui s'exerce successivement à la surface du globe pendant les périodes diurne et annuelle. Ici, l'auteur nous semble réunir, sans une analyse et des développements suffisants, les effets qu'il attribue à la chaleur propre du globe et ceux qui résultent de l'influence solaire. Les variations de l'aiguille à diverses époques se rattacheraient aussi, suivant lui, aux mouvements du sol, et seraient dues à des changements de température de la croûte terrestre sur ces points. Enfin les variations diurnes de l'aiguille et les perturbations locales de la déclinaison seraient encore des résultats de l'influence solaire, de même que les aurores boréales et australes sont des phénomènes électriques dus à des courants qui règnent entre les pôles terrestres et l'atmosphère.

Une autre manière d'envisager le mode de refroidissement du sphéroïde a été proposée par M. le marquis de Roys (1), qui, partant de ce principe, que, dans un corps qui change d'état, sa température apparente ne varie pas, bien que dégageant ou absorbant du calorique, en conclut que jusqu'au moment de la solidification com-

(1) *Bull.*, vol. XIII, p. 238. 1842.

Digitized by Google

plète du globe, la température actuelle de la masse liquide et par conséquent son volume ne doivent pas varier.

Les causes du refroidissement, continue M. de Roys, sont toutes extérieures, et toutes les roches, celles du moins qui composent la surface, étant mauvais conducteurs, ces causes ne peuvent étendre leur influence au dedans que par une transmission nécessairement très lente; et comme elles agissent toujours à la surface, il en résulte que, jusqu'au moment où cette surface a atteint la limite de son refroidissement, elle perd beaucoup plus de calorique que l'intérieur ne peut lui en fournir. Les couches extérieures devront donc se contracter plus vite que celles de l'intérieur, et exercer une pression qui empêchera la formation de vides internes. L'inverse aura lieu lorsque le refroidissement de la surface aura atteint sa limite; la croûte extérieure aura alors une dimension constante, et il se formera des vides à l'intérieur. Or, la température de la surface s'étant encore abaissée pendant la période tertiaire, comme on est porté à le penser d'après certaines considérations paléontologiques, l'auteur conclut que la limite du refroidissement de la surface n'est pas encore atteinte, et qu'il n'y a par conséquent pas à l'intérieur de vides, qui aient pu déterminer des affaissements de la croûte solide, et auxquels on puisse attribuer les anciennes révolutions du globe.

Passant au mode de formation des premières roches, M. de Roys fait voir qu'au commencement l'eau se trouvait à l'état de vapeur dans l'atmosphère, dont elle devait occuper la partie supérieure, étant environ un tiers plus légère que l'air. Son contact avec les espaces célestes la privait de son calorique, et elle retombait sous forme de véritables torrents sur la surface incandescente du globe, d'où elle s'élevait bientôt de nouveau à l'état de vapeur. Ces alternances de condensation et de vaporisation continuèrent jusqu'à ce que la surface fût assez refroidie pour permettre le séjour de l'eau liquide dans ses dépressions. Ces vaporisations successives enlevaient en outre une grande quantité de calorique à la surface incandescente, et devaient hâter son refroidissement et par suite sa solidification. Lorsque les eaux commencèrent à se maintenir à la surface, la température était cependant encore assez élevée pour que les alternances de vaporisation ou de condensation se continuassent pendant longtemps, quoiqu'avec une énergie d'autant moindre que la température s'abaissait davantage; et ce fut pendant cette période que se déposèrent les premières assises de roches schisteuses non cristal-

Digitized by Google

lines, tandis que les roches solidifiées plus tard prirent un caractère de plus en plus cristallin.

Par suite de ce qui a été dit, les assises superficielles doivent tendre à se contracter jusqu'à ce qu'elles aient atteint la limite de leur refroidissement, et elles se contracteraient, en effet, sans la résistance opposée par la masse liquide, dont le volume est resté constant. La pression qui en résulte empêche la formation des vides, et l'enveloppe solide éprouve une tension d'autant plus grande que le refroidissement fait plus de progrès.

Le premier effet de cette pression dut être de modifier la forme du globe et de la rapprocher de la sphéricité qui, pour une même surface, offre le maximum de volume; mais le mouvement de rotation continuant, il ne put l'atteindre. Les eaux, qui étaient d'abord répandues à la surface de la terre, obéirent à la force centrifuge lorsque la forme du sphéroïde fut modifiée par la tension de l'enveloppe solide, et leur puissance s'augmenta à l'équateur, tandis qu'elle diminuait aux pôles. Les actions solaires et lunaires, s'exerçant librement sur cet océan sans bornes, produisaient un mouvement de flux et de reflux dont l'axe devait être à peu près celui de l'écliptique, et d'où résultaient aussi de grandes variations dans la hauteur des eaux vers les pôles. La tension de l'enveloppe, augmentant par ces actions réfrigérantes, finit par l'emporter. Il y eut rupture, suivant des lignes non parallèles entre elles, mais perpendiculaires à un même grand cercle, et les matières liquides de l'intérieur s'élevèrent dans ces fractures. Un dégagement considérable de calorique produisit en même temps une immense vaporisation, et par suite une énorme chute d'eau. Les roches injectées solidifiées, les bords des fractures relevés, des dépressions parallèles produites par la réaction des déchirures, tels furent les effets qui commencèrent à rendre très inégale la surface de la terre.

L'augmentation de capacité pour le calorique, donnée à l'écorce solide par la tension qu'elle éprouvait, a produit ensuite un froid relatif très intense dans les couches contiguës d'air et d'eau. Ce froid s'est opposé à l'existence des êtres qui vivaient auparavant et qui étaient organisés pour une température plus élevée. Ainsi pourrait s'expliquer le renouvellement des animaux et des végétaux lors des grandes révolutions du globe, et l'auteur arrive par une série de phénomènes de ce genre à la période des glaciers anciens, que l'on suppose avoir mis fin à l'époque tertiaire. M. de Roys explique égale-

Digitized by Google

ment le métamorphisme des roches par l'élévation de température qui se produisait à la suite des ruptures de l'écorce solide, et qui, occasionnant aussi à la surface une grande évaporation, donnait lieu à un véritable déluge, par la condensation et la précipitation, et par suite à un dépôt de transport diluvien, au commencement des grandes formations. Aujourd'hui, la surface du globe paraissant avoir atteint la limite de son refroidissement, le volume de l'enveloppe demeurera constant, et il pourra se former des vides au dedans; mais, dans toutes les périodes antérieures, elle était loin de cette limite.

Le principe qui sert de base à l'hypothèse de M. de Roys a été combattu par M. Angelot (1), du moins dans son application au refroidissement du globe, et il semble, en effet, que la permanence de température d'un corps qui change d'état n'est nécessaire que pour la partie même de ce corps qui change, va changer ou vient de changer, et non pour toute la masse, quelque étendue qu'elle soit, et quelles que soient la température et la composition de ses diverses parties. Rappelant ensuite cette circonstance, que dans les balles de plomb fondu il existe constamment une *chambre* excentrique, comme l'a constaté M. Leblanc (2), et dans le cas de la terre, la gravité étant vers le centre même du globe, la chambre doit tendre à s'y former dans toutes les directions et à devenir, non pas excentrique comme dans les balles, mais bien concentrique. Si à une certaine époque, la chambre concentrique est devenue complète, il s'y sera formé une seconde sphère solide, et ces circonstances se reproduisant par le refroidissement continu, on conçoit que la terre pourrait être composée d'une série de sphères concentriques emboîtées les unes dans les autres. M. Angelot ne regarde pas d'ailleurs le refroidissement comme terminé, mais seulement comme étant plus faible que dans la période tertiaire, et se continuant encore.

A cette occasion, M. Dufrénoy (3) a fait remarquer, d'après des calculs de M. Élie de Beaumont, que la densité moyenne de la terre, suivant M. Reich, étant 5,44 et celle des roches de la surface 2,75, celle des matières situées vers le centre doit être bien supérieure à 5,44. Si l'on suppose le globe formé de trois couches concentriques d'égale épaisseur, et dont les densités soient en progression arithmé-

(1) *Bull.*, vol. XIII, p. 245. 1842.
(2) *Ibid.*, vol. XII, p. 140. 1841.
(3) *Ibid.*, vol. XIII, p. 251. 1842.

Digitized by Google

tique, la plus extérieure sera 2,75, la moyenne 10,82, et celle du centre 18,89. Or, ces deux dernières sont presque égales à la densité de l'argent (10,47) et à celle de l'or (19,26). En admettant un plus grand nombre de couches, la densité de celle du centre serait encore plus considérable. Ces densités se rapportent d'ailleurs aux densités effectives des matières qui composent le globe, eu égard à leur température et aux pressions auxquelles elles sont soumises ; mais ces résultats numériques ne nous apprennent rien sur la nature chimique de ces matières.

En recherchant si, dans l'état actuel des choses, la température moyenne de la surface du globe décroît plus ou moins rapidement que la température moyenne de la masse interne, M. Élie de Beaumont a aussi démontré (1) que le refroidissement annuel de la surface est plus grand que celui de la masse totale du globe pendant un laps de 38,359 ans, à partir de l'origine du refroidissement, et qu'ensuite le refroidissement moyen annuel de la masse surpasse celui de la surface, et cela de plus en plus. Si, d'après ces ingénieuses recherches du géologue éminent que nous venons de citer, on pouvait, connaissant la température moyenne actuelle de la surface, en déduire à quel moment de cette grande période nous nous trouvons, et si l'on savait actuellement que le refroidissement de la masse n'est pas plus grand que celui de la surface, bien que nous ne connaissions pas le calorique spécifique moyen de la masse, il semble qu'un grand pas serait fait vers la connaissance de l'ancienneté de notre planète, ou du moins, du temps qui s'est écoulé depuis son premier refroidissement.

M. Angelot (2) a rattaché à l'accroissement de densité des couches terrestres vers l'intérieur des observations de M. G. Bischof (3), qui établissent que les roches ignées se contractent diversement en passant de l'état liquide à l'état solide. Ainsi le granite se contracte de 1/4, le trachyte de un peu moins de 1/5 et le basalte de un peu plus de 1/10. On avait admis *à priori* qu'à l'intérieur de la masse liquide les substances fondues étaient rangées dans l'ordre de leur pesanteur spécifique, et la pesanteur spécifique des roches, dans l'ordre général de leur apparition à la surface, montre que celle du granite est la plus faible ; puis viennent celles des basaltes et des laves. Les expé-

(1) *Comp. rend.*, vol. XIX, p. 1327. 1844.
(2) *Bull.*, vol. XIV, p. 49. 1842.
(3) *Neu. Jahrb.*, p. 565. 1841.

Digitized by Google

riences de M. Bischof confirmeraient complétement cette manière de voir, et l'anomalie qui semble résulter de ce qu'à l'état solide la densité du trachyte est moindre que celle du granite, disparaît, dit M. Angelot, lorsque l'on considère ces roches à l'état liquide; ainsi on trouve pour le granite 1,99, pour le trachyte 2,17 et pour le basalte 2,69; or, l'époque de l'apparition de ces roches se trouve en raison inverse de leur densité à l'état liquide, et par conséquent dans l'ordre où la théorie les indiquait à l'intérieur.

On a aussi observé qu'à mesure qu'on s'enfonce dans la terre les proportions d'oxygène et de silice diminuent, et en même temps la contractilité des roches, tandis que la quantité de fer augmente comme élément chimique. Si cette observation se généralisait, ainsi que le remarque M. Angelot, et que la progression existât réellement, on arriverait à avoir, pour le centre de la terre, quelque chose d'analogue aux masses de fer météorique, dont ce métal forme les 9/10. Le silicium y a presque disparu, ainsi que l'oxygène, ce qui d'ailleurs s'accorderait avec ce que nous avons dit (*antè* p. 7), que les masses de fer météoriques pouvaient être les noyaux de petits astres dépouillés de leur croûte extérieure oxydée.

M. F. de Boucheporn s'est aussi occupé de l'origine du globe et de son mode de formation, surtout au point de vue chimique. Dans ses *Études sur l'histoire de la terre* (1), il n'a point suivi la même marche que nous, pour l'exposition des idées et des faits; aussi commencerons-nous l'examen de sa théorie par le chapitre IX, qui, bien que ne formant, suivant lui, qu'une partie accessoire de son ouvrage, par cela même qu'il traite de l'histoire chimique du globe ou de l'état originaire et des transformations des matériaux qui composent son écorce observable, doit précéder l'examen des phénomènes de beaucoup postérieurs, lesquels font l'objet spécial du livre dont nous allons nous occuper.

Quoique pénétrant assez haut dans l'échelle géologique, le granite forme en réalité la base de tous les terrains. A ce caractère d'universalité du granite M. de Boucheporn oppose la salure des mers, qu'il regarde comme ayant une origine contemporaine de celle du granite lui-même; car la connaissance que nous avons des animaux les plus anciens porte à penser que les mers étaient salées dès le commencement. Or, n'est-il pas remarquable, ajoute l'auteur, que des deux principaux alcalis répandus à la surface du globe, l'un, la soude, soit

(1) In-8 avec carte et planches. Paris, 1844.

Digitized by Google

pour ainsi dire isolé et concentré dans la grande dissolution marine, tandis que l'autre, la potasse, caractérise exclusivement le premier revêtement solide de l'écorce terrestre, formant la base active et fondante du feldspath et du mica. Tout le feldspath des roches anciennes est, en effet, à base de potasse.

M. de Boucheporn insiste (p. 215) sur ce caractère particulier du granite, de présenter le quartz, de beaucoup le plus infusible de ses éléments, comme une pâte amorphe enveloppant les cristaux de substances bien plus fusibles (mica, feldspath, tourmaline, amphibole, etc.). Tous les éléments de la roche ayant d'ailleurs pris en même temps, sous l'influence ignée, la disposition qu'ils occupent, il suppose, pour l'expliquer, qu'une formation s'est déposée dans le bassin des mers primitives à l'état d'un dépôt chimique silicaté, dont les éléments auraient pu former des groupements partiels, capables de céder à l'action de la chaleur, comme, dans certains fourneaux, la température sépare les scories fusibles, de la masse métallique moins susceptible d'être ramollie. Une chaleur adventice, venant ensuite à s'exercer sur ce précipité, y aurait déterminé la formation des composés fusibles (feldspath et mica), et l'élément réfractaire, le quartz, isolé à l'état naissant, se serait aggloméré sur ces noyaux fluides sans fusion complète, mais à un certain état de mollesse; de sorte que la séparation du quartz serait une espèce de précipitation par résistance à la fusion, phénomène dont les conditions sont très différentes d'une solidification par refroidissement.

Dans une addition au chapitre IX, placée à la fin de son ouvrage, l'auteur a prévenu en quelque sorte lui-même les objections qui pouvaient être faites à son hypothèse; car il dit, en parlant de la silice: On doit même supposer cette substance à l'état gélatineux, état qu'elle prend, en général, lorsqu'elle est formée dans l'eau, au moyen d'un composé de silicium, et cela aiderait à concevoir ce moulage du quartz sur les matières fusibles.

Mais déjà M. Élie de Beaumont (1), par suite des recherches de M. Gaudin sur la fusion du quartz, avait fait observer que la silice, en se refroidissant, a la propriété de rester visqueuse pendant un certain temps, tandis qu'il n'en est pas de même de l'alumine, qui se montre en quelque sorte l'inverse de la silice. Dans les granites et les porphyres il y a toujours beaucoup de silice en excès, mais dans les trapps et les basaltes ce sont les bases qui dominent;

(1) *Société philomatique*, 4 mai 1839. — *L'Institut*, 16 mai 1839.

Digitized by Google

et celles-ci passent très rapidement à l'état solide, en perdant très peu de leur chaleur dans ce passage. Non seulement cette observation de M. de Beaumont rend suffisamment compte de l'état du quartz dans les granites, état dont beaucoup de personnes se sont préoccupées depuis Breislak ; mais elle peut être regardée comme la base des idées que M. Fournet a développées, en 1844, *Sur l'état de surfusion du quartz dans les roches éruptives et dans les filons métallifères* (1).

Ce dernier, après avoir rappelé les substances telles que l'eau, le soufre, le phosphore et beaucoup de dissolutions salines qui se maintiennent à l'état liquide en-deçà du point où leur dissolvant a été saturé à chaud, fait remarquer que, dans cet état de *surfusion* ou de *sursaturation*, ces matières sont susceptibles de résister à l'influence des corps étrangers, et que la silice a pu de même rester à l'état de surfusion, étant douée d'une viscosité qui ne peut qu'augmenter les effets mentionnés pour le soufre et le phosphore. On conçoit alors, dit M. Fournet, que les substances les plus cristallisables d'un magma se façonnent les premières en imprimant leurs arêtes et leurs angles sur la pâte molle qui les environne. Lorsque le refroidissement est arrivé à un degré convenable, cette pâte cristallise à son tour ; et comme la température a pu être telle, que les corps environnants n'aient pas perdu toute plasticité, il s'est produit les empreintes réciproques que l'on voit si fréquemment.

Cette explication n'a cependant point paru suffisante à M. Durocher (2), parce que les différences que l'on connaît, entre les degrés de température correspondant à la congélation et à la liquéfaction d'une même substance, ne s'élèvent pas à 100°. Elles sont beaucoup trop faibles pour expliquer la cristallisation, avant le quartz, du feldspath, de la tourmaline et du grenat, puisque la différence entre leurs points de fusion est de plusieurs centaines de degrés.

M. Durocher suppose que, lors de l'état fluide de la masse, le feldspath, le mica et le quartz formaient un tout homogène, composé de silice, d'alumine, de bases alcalines et terreuses, etc., et qui serait resté fluide, en perdant de sa chaleur et en conservant tous

(1) *Comp. rend.*, vol. XVIII, p. 1050. — *An. de la Soc. d'agric. de Lyon*. 1844. — Voyez aussi : Fuchs, *Sur la théorie de la terre*, etc. Munich, 1844.

(2) *Sur l'origine des roches granitiques. Comp. rend.*, vol. XX, p. 1275. 1845. — Voyez aussi : Th. Scheerer, *An. de Poggendorff*, vol. LVI, p. 479. — Schafhault, *Neu. Jahrb.* 1845, cah. 7, p. 858. — *Bull.*, 2e sér., vol. IV, p. 477. 1847.

Digitized by Google

ses éléments combinés, jusqu'à une température peu supérieure à celle qui détermine la liquéfaction du feldspath. D'un autre côté, la composition la plus générale qu'il ait trouvée dans les granites étant : feldspath 40, quartz 25, mica 15, il compare la composition élémentaire moyenne du granite très feldspathique et très micacé, à celle de certains pétrosilex, et fait remarquer qu'il existe entre ces derniers une analogie frappante, les proportions de silice et d'alumine y étant à peu près les mêmes, et l'alcali étant seulement plus abondant dans les granites. Or, si les pétrosilex sont si fusibles, dit ce géologue, les granites pris en masse, à l'état rudimentaire, ont dû l'être au même degré, puisque leur composition est analogue. D'ailleurs les silicates multiples combinés ensemble sont beaucoup moins réfractaires qu'ils ne le seraient pris isolément. Ainsi, les masses granitiques ont pu se maintenir, après leur éruption, dans un état de fusion pâteuse, jusqu'à une température voisine de celle qui correspond à la liquéfaction du feldspath, et constituant une seule combinaison minérale ; c'est à ce moment que peut venir s'appliquer l'hypothèse proposée par M. Fournet.

Depuis l'instant où le départ s'effectue dans le magma granitique, et où il s'en sépare trois ou quatre combinaisons définies (l'orthose, l'albite, le mica, le quartz), si la température est peu élevée au-dessus de celle qui détermine la solidification des éléments les plus fusibles, ceux-ci mettront plus de temps à passer à l'état solide. Mais dans ce passage, ceux qui prennent d'abord l'état visqueux, comme la silice, peuvent se solidifier moins vite, et alors le feldspath aura cristallisé avant le quartz. D'ailleurs les empreintes du quartz dans les cristaux de feldspath montrent aussi que ces éléments sont passés presque en même temps à l'état solide. Dans les granites, le cas le plus général est, comme on sait, le quartz amorphe ou compacte, qui a formé une masse vitreuse, et qui a servi de ciment dans lequel le feldspath et le mica ont dû cristalliser.

Ainsi ce problème important de géologie chimique, par le concours simultané de ces recherches, paraît être bien voisin d'une solution complète. Il a dû nous arrêter d'autant plus que, comme le remarque M. de Boucheporn, cet état du granite a été et est encore aujourd'hui invoqué tour à tour, à l'appui des deux théories opposées du vulcanisme et du neptunisme, et le même phénomène a servi d'arme aux défenseurs de l'une et l'autre hypothèses ; mais revenons à l'*Essai sur l'histoire de la terre*.

De ce que la potasse a, en général, plus de tendance que la soude

Digitized by Google

à former des composés insolubles dans certains cas donnés, il en résulte que la première se précipitera plus tôt que la seconde ; et si les deux alcalis viennent à se trouver en présence des acides fluosilicique et muriatique, en quantité nécessaire pour leur saturation, la potasse se précipitera en fluosilicate, laissant la soude dissoute à l'état de sel marin. Or, dans la nature, nous voyons le fluor avec la potasse dans le granite, et de l'autre, le chlore avec la soude dans l'eau de mer (p. 225). « Ainsi, dit l'auteur, l'exclusion réciproque de » deux corps aussi rapprochés chimiquement que le chlore et le fluor, » en regard de l'exclusion réciproque aussi de la soude et de la po- » tasse, forme un double résultat d'une concordance merveilleuse » avec le principe chimique que je viens d'exposer. » La raison de ces faits se trouve pour lui dans la formation du granite par la voie humide.

Le dépôt silicaté, que M. de Boucheporn suppose être l'élément premier du granite, n'éprouvant pas, sur le bord des parties échauffées localement, de transformations aussi complètes, parce que la pression y était moindre, diverses substances s'en dégageront par l'élévation de la température, se porteront sur les roches sédimentaires en contact, les modifieront et donneront lieu à ce que l'on a appelé des roches métamorphiques ; tels sont les gneiss et les micaschistes. Ces résultats sont d'ailleurs tout à fait distincts des phénomènes de contact par le granite, lesquels n'ont jamais qu'une très faible épaisseur. De toutes les roches primitives, le granite seul serait le produit d'un précipité chimique. Les roches stratifiées primaires, au contraire, auraient été formées mécaniquement, aux dépens de ce premier dépôt dans son état originaire, puis transformées avec lui, plus tard, par la pénétration intermittente de la chaleur.

Il est naturel de penser (p. 233) que les corps, à l'origine de la terre, se trouvaient groupés en combinaisons définies, suivant les affinités particulières de la voie ignée ; mais la présence de l'oxygène apportant de grandes difficultés pour bien concevoir ce premier état du globe, M. de Boucheporn ne recule pas devant l'hypothèse hardie de supposer à ce gaz, que nous avons vu entrer en si grande proportion dans la croûte du globe, une origine étrangère à celle des autres substances qui le composent. En en faisant abstraction, ces autres corps lui paraissent pouvoir être renfermés dans un nombre limité de combinaisons simples, déduites des affinités calorifiques, d'où l'oxygène lui-même aurait ensuite extrait les combinaisons variées que nous avons sous les yeux.

Digitized by Google

L'auteur, ainsi qu'on l'a déjà vu, regardant les idées de Buffon et de Laplace comme peu compatibles avec la théorie chimique, pense que les planètes sont étrangères au soleil et dérivent toutes d'une impulsion simultanée vers la sphère d'attraction dominante de cet astre. Il y aurait eu alors *succession* dans la provenance des deux parties constituantes du système, l'astre central d'une part, et les planètes ou ses satellites de l'autre. Si le soleil, comme le suppose en outre M. de Boucheporn, n'avait pas encore sa rotation lorsque le système de ses satellites est entré dans sa sphère d'activité, il a pu être entouré d'une atmosphère qui s'étendait jusqu'à la terre et au-delà; et en supposant que ce fluide fût de l'oxygène pur, qui n'entrait pas positivement dans la composition originaire des planètes, il a dû en résulter, pour la terre par exemple, des conséquences très remarquables. Cette hypothèse, que l'on accordera sans doute difficilement à l'auteur, est cependant la base fondamentale de sa théorie chimique de la terre.

Parmi les corps les plus légers existant à la surface du globe, on doit, dit-il, compter l'hydrogène, et son contact avec l'oxygène, sous l'action d'une haute température, a produit l'eau. Telle est l'origine des mers. En supposant encore qu'au commencement l'hydrogène fût uni au carbone et à l'azote, il formait avec ce dernier de l'ammoniaque, et de la combustion de ces sels ammoniacaux il serait encore résulté de l'eau, puis de l'azote; la mer et l'atmosphère. Enfin, l'hydrogène a pu se trouver à l'état d'hydrogène proto-carboné, qui aurait donné lieu à l'acide carbonique de l'air et de l'eau.

Les corps élémentaires que nous connaissons, réunis, à l'origine, sous l'influence ignée et sans la présence de l'oxygène (p. 238), devaient être groupés en combinaisons binaires, quaternaires, etc., dans lesquelles les corps non métalliques se trouvaient unis, comme éléments électro-négatifs, aux métaux qui étaient à l'état de sulfure, de fluorure, de chlorure, etc. L'oxygène et l'eau, agissant ensuite sur ces corps, auraient produit toutes les transformations, d'où résultent les combinaisons actuelles dans lesquelles l'oxygène joue le rôle principal. Alors se seraient formés la silice, l'alumine, la potasse, la soude, la magnésie, la chaux, l'oxyde de fer et les autres bases ou acides minéraux. Pour constituer le revêtement général de granite, ses éléments (silice, alumine, potasse et fluor) se seront trouvés seuls insolubles dans l'enveloppe fluide générale, dans l'eau, tandis que les autres éléments ont pu se trouver tous dissous, pendant cette première période des réactions chimiques de la voie hu-

Digitized by Google

mide. Puis, entrant dans le détail des combinaisons et des réactions chimiques qui auraient eu lieu successivement, détail qu'il nous est impossible de reproduire ni même de présenter d'une manière sommaire, M. de Boucheporn se résume ainsi (p. 245) :

« Telle sera pour nous la composition qu'il est rationnellement » possible d'imaginer à la surface primitive du globe terrestre, pour » qu'une oxydation instantanée ait pu y développer les différentes » combinaisons et les masses distinctes que nous y observons actuel- » lement : une atmosphère d'hydrogène pur, mêlé peut-être d'hy- » drogène carboné et d'azote ou de cyanogène, aurait entouré un » noyau métallifère composé, à la partie extérieure au moins, de » cyanures et de leur combinaison avec les chlorures, fluorures et sul- » fures; à ce mélange on peut ajouter, s'il en est besoin, des sels » ammoniacaux correspondant aux divers acides hydrogénés. Sans » supposer même à cette masse une chaleur considérable, l'action » de l'oxygène sur quelqu'un des composés des métaux a dû déter- » miner une incandescence locale, capable de porter la déflagration » dans tout le mélange inflammable d'oxygène et d'hydrogène, et » de produire ainsi subitement la grande masse des eaux, dont les » vapeurs, se condensant peu à peu sur le noyau même, ont dû » exercer leur action propre sur les matières qui en formaient le » revêtement. De là, par la décomposition de l'eau, oxydation des » métaux, avec dégagement de carbures et sulfure d'hydrogène; de » là la combinaison de la silice avec l'alumine, la potasse et le fluor » et leur précipitation immédiate, élément futur des granites; de là » la dissolution au contraire du chlorure de sodium, avec la quantité » surexcédante des cyanures et sulfo-cyanures, comprenant ceux de » calcium et de magnésium, élément futur des calcaires, des dolo- » mies, et des sulfates alcalins de la dissolution marine. »

Nous avons dit plus haut que M. de Boucheporn ne considérait cette partie chimique de son ouvrage que comme accessoire et n'étant point indispensable à la théorie des révolutions du globe ; aussi ne ferons-nous qu'une remarque relative à la supposition de l'oxygène comme provenant de l'atmosphère solaire, et par conséquent d'une source étrangère à celle des autres substances de notre planète. Cette idée nous semble, en effet, tout à fait opposée à la simplicité des grandes lois de la nature et des moyens qu'elle emploie, simplicité que l'auteur lui-même invoque souvent et avec raison. Si nous remarquons en outre que cette supposition lui a été suggérée uniquement pour favoriser une combinaison chimique, dont il ne pouvait se rendre compte

Digitized by Google

autrement, et parce qu'elle n'aurait pu, suivant lui, réussir en présence de l'oxygène, ne semblera-t-il pas que cette espèce d'expédient de laboratoire offre une disproportion énorme entre un résultat, peut-être même contestable, et la grandeur, nous dirons même l'immensité du moyen invoqué pour l'expliquer?

La théorie générale des révolutions de la terre ne pouvant qu'être indiquée en ce moment, nous remettons à en parler dans le chapitre consacré aux soulèvements, et nous traiterons seulement ici des idées qui se rattachent à l'origine du globe et à ses mouvements.

L'idée théorique fondamentale du livre dont nous nous occupons, c'est l'instabilité de la position de l'axe de la terre, instabilité produite par des chocs de comète. C'est autour de cette hypothèse, déjà bien ancienne, que l'auteur est venu grouper, avec beaucoup de talent, les faits nombreux qu'il a rassemblés. Mais le développement de cette idée ne nous semble pas avoir été amené avec toute la méthode désirable. Il faut en chercher les preuves disséminées çà et là dans les divers chapitres, et nulle part nous n'avons vu discuter, aussi sérieusement que nous l'eussions désiré, la possibilité de cette instabilité même. Ainsi la première mention de changement dans la position de l'axe se trouve à la fin du chapitre IV, et d'une manière tout à fait accessoire, pour expliquer une partie du phénomène erratique. Il en est de même à la fin du chapitre V, qui traite de la théorie des failles d'une manière très élégante et sur laquelle nous reviendrons. Ainsi, la conséquence est posée avant les prémisses. Enfin, le chapitre VI traite du choc de la terre par une comète et des modifications qui ont dû en résulter dans la forme de son enveloppe solide extérieure.

Les géomètres qui se sont occupés du déplacement de l'axe terrestre, dit M. de Boucheporn (p. 145), n'ont considéré le globe que comme une masse solide homogène, au lieu de tenir compte d'une zone fluide placée sous l'enveloppe solide, laquelle dans le déplacement de l'axe de rotation devra se conformer au nouveau mouvement, en modifiant sa forme pour prendre celle de l'ellipsoïde par rapport à un nouvel axe. Mais l'écorce rigide ne pouvant se modifier de la même manière, il y aura des pressions du dedans au dehors, dans le sens du nouvel équateur, d'où résulteront des dislocations régulières et générales sur tout un grand cercle, les fractures planes, les failles et les redressements montagneux. Si l'on examine ce qui arriverait lors du choc d'une comète, tant pour la zone fluide interne que pour la croûte solide externe, on voit que la première se con-

Digitized by Google

formera au nouveau mouvement de rotation, en formant un nouvel ellipsoïde de révolution. La croûte solide, au contraire, ne pouvant suivre le même mouvement, sera rompue et disloquée sur certains points, à cause de l'expansion du liquide dans le sens du nouvel équateur, tandis que sur d'autres elle sera privée d'appui par le déplacement de ce même liquide, et sollicitée alors à se rapprocher du centre.

Après cette espèce d'introduction à son sujet, l'auteur s'attache à démontrer chacun des principes suivants (p. 157):

Premier principe. « Dans le changement de rotation de la terre, » le premier effet des forces d'expansion, qui agissent dans les plans » méridiens en divergence de l'axe, sera de rompre son enveloppe » solide suivant des plans parallèles au nouvel équateur, brisement » dont la disposition reproduit ainsi les trois principaux caractères » des fractures géologiques : l'alignement, le parallélisme et l'incli- » naison sur la verticale. »

Deuxième principe. « Le second effet des forces d'expansion, celui » qui résulte des réactions normales aux divers plans méridiens, est » d'écarter l'une de l'autre les parois des anciennes fissures dont la » direction est transverse à celle du nouveau mouvement de la terre; » ce qui peut répondre au phénomène de l'élargissement des failles » et des filons, quoique l'effet principal ait dû s'exercer plutôt sur » l'approfondissement des vallées. »

Troisième principe. « L'effet des forces centripètes, dans la trans- » formation du mouvement de rotation, et en particulier celui de » la pesanteur de l'enveloppe solide, ne produit point d'affaissements; » il se résume en un refoulement général du revêtement de la terre » par deux séries de forces symétriquement opposées, partout ho- » rizontales, qui en déterminent le raccourcissement dans le sens du » méridien, au moyen d'ondulations alignées, parallèles entre elles et » au mouvement de la terre. Ces ondulations et ploiements, qui sont » l'origine de nos montagnes, croissent en intensité des pôles à » l'équateur, et déterminent, à l'équateur même, les chaînes les plus » considérables, lesquelles suivent ainsi l'alignement d'un des grands » cercles de la sphère terrestre, et doivent marquer sur la surface de » la terre la trace de ses équateurs successifs. »

L'application de ce principe permet à M. de Boucheporn de retrouver, sur le globe, toutes les positions qu'a occupées l'équateur dans ses différentes phases; non seulement il croit avoir reconnu un nombre limité de grands cercles montagneux, égal à celui des for-

Digitized by Google

lines, tandis que les roches solidifiées plus tard prirent un caractère de plus en plus cristallin.

Par suite de ce qui a été dit, les assises superficielles doivent tendre à se contracter jusqu'à ce qu'elles aient atteint la limite de leur refroidissement, et elles se contracteraient, en effet, sans la résistance opposée par la masse liquide, dont le volume est resté constant. La pression qui en résulte empêche la formation des vides, et l'enveloppe solide éprouve une tension d'autant plus grande que le refroidissement fait plus de progrès.

Le premier effet de cette pression dut être de modifier la forme du globe et de la rapprocher de la sphéricité qui, pour une même surface, offre le maximum de volume; mais le mouvement de rotation continuant, il ne put l'atteindre. Les eaux, qui étaient d'abord répandues à la surface de la terre, obéirent à la force centrifuge lorsque la forme du sphéroïde fut modifiée par la tension de l'enveloppe solide, et leur puissance s'augmenta à l'équateur, tandis qu'elle diminuait aux pôles. Les actions solaires et lunaires, s'exerçant librement sur cet océan sans bornes, produisaient un mouvement de flux et de reflux dont l'axe devait être à peu près celui de l'écliptique, et d'où résultaient aussi de grandes variations dans la hauteur des eaux vers les pôles. La tension de l'enveloppe, augmentant par ces actions réfrigérantes, finit par l'emporter. Il y eut rupture, suivant des lignes non parallèles entre elles, mais perpendiculaires à un même grand cercle, et les matières liquides de l'intérieur s'élevèrent dans ces fractures. Un dégagement considérable de calorique produisit en même temps une immense vaporisation, et par suite une énorme chute d'eau. Les roches injectées solidifiées, les bords des fractures relevés, des dépressions parallèles produites par la réaction des déchirures, tels furent les effets qui commencèrent à rendre très inégale la surface de la terre.

L'augmentation de capacité pour le calorique, donnée à l'écorce solide par la tension qu'elle éprouvait, a produit ensuite un froid relatif très intense dans les couches contiguës d'air et d'eau. Ce froid s'est opposé à l'existence des êtres qui vivaient auparavant et qui étaient organisés pour une température plus élevée. Ainsi pourrait s'expliquer le renouvellement des animaux et des végétaux lors des grandes révolutions du globe, et l'auteur arrive par une série de phénomènes de ce genre à la période des glaciers anciens, que l'on suppose avoir mis fin à l'époque tertiaire. M. de Roys explique égale-

Digitized by Google

ment le métamorphisme des roches par l'élévation de température qui se produisait à la suite des ruptures de l'écorce solide, et qui, occasionnant aussi à la surface une grande évaporation, donnait lieu à un véritable déluge, par la condensation et la précipitation, et par suite à un dépôt de transport diluvien, au commencement des grandes formations. Aujourd'hui, la surface du globe paraissant avoir atteint la limite de son refroidissement, le volume de l'enveloppe demeurera constant, et il pourra se former des vides au dedans; mais, dans toutes les périodes antérieures, elle était loin de cette limite.

Le principe qui sert de base à l'hypothèse de M. de Roys a été combattu par M. Angelot (1), du moins dans son application au refroidissement du globe, et il semble, en effet, que la permanence de température d'un corps qui change d'état n'est nécessaire que pour la partie même de ce corps qui change, va changer ou vient de changer, et non pour toute la masse, quelque étendue qu'elle soit, et quelles que soient la température et la composition de ses diverses parties. Rappelant ensuite cette circonstance, que dans les balles de plomb fondu il existe constamment une *chambre* excentrique, comme l'a constaté M. Leblanc (2), et dans le cas de la terre, la gravité étant vers le centre même du globe, la chambre doit tendre à s'y former dans toutes les directions et à devenir, non pas excentrique comme dans les balles, mais bien concentrique. Si à une certaine époque, la chambre concentrique est devenue complète, il s'y sera formé une seconde sphère solide, et ces circonstances se reproduisant par le refroidissement continu, on conçoit que la terre pourrait être composée d'une série de sphères concentriques emboîtées les unes dans les autres. M. Angelot ne regarde pas d'ailleurs le refroidissement comme terminé, mais seulement comme étant plus faible que dans la période tertiaire, et se continuant encore.

A cette occasion, M. Dufrénoy (3) a fait remarquer, d'après des calculs de M. Élie de Beaumont, que la densité moyenne de la terre, suivant M. Reich, étant 5,44 et celle des roches de la surface 2,75, celle des matières situées vers le centre doit être bien supérieure à 5,44. Si l'on suppose le globe formé de trois couches concentriques d'égale épaisseur, et dont les densités soient en progression arithmé-

---

(1) *Bull.*, vol. XIII, p. 245. 1842.
(2) *Ibid.*, vol. XII, p. 140. 1841.
(3) *Ibid.*, vol. XIII, p. 251. 1842.

Digitized by Google

verser cette zone torride céleste, et que sa surface ait pris une température peu différente de celle de l'espace; et, enfin, les phénomènes géologiques doivent faire admettre que la température stellaire s'est abaissée rapidement à partir du maximum, pour arriver à une valeur qui depuis lors n'a diminué que très lentement. Suivant M. Daubrée, l'hypothèse de Poisson et celle de Fourier, qui diffèrent totalement pour l'époque initiale de la formation de la terre, et nous ajouterons pour son mode de refroidissement, peuvent être ramenées à une sorte de concordance lorsqu'on ne remonte pas au-delà du domaine de la géologie proprement dite.

Nous dirons cependant que l'hypothèse de Poisson est bien plus compliquée que celle de Fourier, puisqu'elle suppose : 1° que les molécules de la terre étaient à l'état de gaz, qu'elles sont passées à l'état liquide, puis à l'état solide, par suite de l'attraction, et cela du centre à la circonférence; de telle sorte que le refroidissement aurait eu lieu inversement des lois ordinaires, car il est difficile d'admettre, malgré l'effet de la pression et de l'attraction, que les molécules solides du centre, à un moment donné, se soient trouvées à une température plus élevée que les molécules encore liquides et gazeuses de la surface; 2° que le globe, complétement solidifié, a dû être emporté dans une partie de la sphère céleste, où la température était telle, que la surface a été complétement fondue jusqu'à une grande profondeur. Or, cette hypothèse n'est-elle pas bien gratuite, lorsque nous pouvons à peine apprécier la distance des étoiles, même les plus rapprochées de nous? 3° Enfin, il faut admettre que la température de notre système planétaire, de retour dans des régions plus tempérées ou froides, s'est abaissée de nouveau, et que c'est à partir de ce second refroidissement que commence l'ère de la géologie. Nous préférons donc la simplicité de la première hypothèse, contre laquelle les objections de Poisson ne nous semblent pas aussi fortes qu'il a pu le croire. Nous ferons voir d'ailleurs bientôt, d'après les calculs d'un autre mathématicien, que les lois de la propagation de la chaleur ou celles du refroidissement dans une masse telle que la terre, composée d'éléments divers et à divers états, ne sont pas assez connues pour conduire à une solution un peu rigoureuse, lorsqu'on tient compte de tous les éléments de la question. Si notre illustre compatriote a été effrayé du nombre d'années qu'il faudrait pour que la température initiale arrivât à l'état actuel, c'est qu'il n'a pas pu apprécier le laps de temps qui a dû s'écouler seulement pour la formation des terrains de sédiment anciens qui atteignent jusqu'à

Digitized by Google

14,500 mètres d'épaisseur. Et qu'est-ce encore, si l'on y ajoute tous les schistes cristallins qui les ont précédés et tous les dépôts secondaires et tertiaires qui les ont suivis ? Si déjà, dans le domaine de la géologie, nous n'avons que des chronomètres relatifs, et dont nous ne pouvons comparer la marche avec ceux qui marquent nos jours et nos années, au-delà, à bien plus forte raison, toute appréciation exacte du temps nous est-elle rigoureusement interdite.

Nous mentionnerons ici un mémoire adressé à l'Académie des sciences par M. Ducis (1), et qui avait pour but la critique de l'opinion de Poisson, qui assignait à la limite de l'atmosphère, comme condition nécessaire, l'existence d'une couche liquide terminant la masse gazeuse, la liquéfaction de l'air devant résulter d'un froid intense, et la couche ainsi produite se maintenir d'une épaisseur suffisante pour que son poids fît équilibre à la force élastique des couches inférieures de l'air. L'argumentation de M. Ducis nous est restée inconnue, mais il est probable que son auteur ignorait les objections déjà faites à cette même opinion par M. de la Rive dans l'article que nous avons cité.

A partir de 1837, époque à laquelle M. W. Hopkins communiqua à l'*Association britannique pour l'avancement des sciences* le commencement de ses *Recherches sur la géologie physique* (2), ce savant a publié successivement plusieurs mémoires dont nous allons rendre compte. Les aperçus nouveaux qu'on y trouve sur la théorie de la terre, le grand nombre de calculs auxquels l'auteur s'est livré à ce sujet et l'extrême réserve qu'il a mise dans ses conclusions, méritent une attention particulière.

Dans la première série de ces recherches (3), M. Hopkins, avant d'entrer en matière, fait remarquer qu'il y a pour les corps deux modes distincts de refroidissement ; l'un pour les corps solides ou imparfaitement fluides, et qu'il nomme *refroidissement par conduction ;* l'autre pour les masses dans un état de fluidité tel, que les particules composantes peuvent se déplacer et se mouvoir entre elles, c'est le *refroidissement par circulation* ou par *évection*. Les lois du premier mode sont assez connues, mais il n'en est pas de même de celles du second. A l'origine du globe, alors qu'il était dans un état

(1) Séance du 14 mars 1842. — *L'Institut*, 17 mars 1842.

(2) *Report*, 7^e^ *meet. brit. assoc. at Liverpool*, vol. VI, p. 92. Londres, 1838.

(3) *Researches in physical geology*. First-series (*Philos. transac. of the r. Soc. of London* pour 1839, part. II, p. 381).

Digitized by Google

de fluidité parfaite, le premier refroidissement a eu lieu par circulation, et le changement de ce premier mode dans le second a dépendu de certaines conditions.

Si, d'une part, la tendance à se solidifier par le refroidissement diminue de la circonférence au centre, de l'autre, la tendance à se solidifier par la pression augmente dans le même sens; mais les lois de ces deux phénomènes étant peu connues, M. Hopkins déduit seulement de cette proposition, que si l'augmentation de température, en s'enfonçant dans la masse, est assez rapide pour s'opposer à la solidification que tend à déterminer la plus grande pression, il y aura propension vers un état imparfaitement fluide de la masse, et ensuite vers sa solidification dans ses parties supérieures; tandis que si c'est la pression qui l'emporte, le passage de la fluidité parfaite à l'état de fluidité imparfaite et enfin la solidification commenceront par le centre.

Dans le premier cas, il n'y aura solidification de la croûte externe que lorsque toute la masse sera à un état imparfaitement fluide; car, jusque-là, il y aura toujours circulation; et celle-ci devra cesser presque en même temps dans toute l'étendue de la masse, laquelle commencera alors à se refroidir par conduction, très rapidement à la surface et très lentement à l'intérieur, à cause du peu de conductibilité des roches. Nous ne savons point encore l'épaisseur probable de la croûte terrestre, dans l'hypothèse de sa fluidité primitive, ne connaissant pas l'influence d'une haute température pour résister à la solidification, comparée ou opposée à celle d'une grande pression qui la déterminerait; seulement, l'état actuel de la surface du globe permet d'admettre l'existence d'une croûte solide, dont l'épaisseur est très petite relativement au rayon.

Dans le second cas, celui où la pression vers le centre l'emporterait sur la température, le refroidissement par conduction commencerait par le centre, tandis que les parties supérieures se refroidiraient encore par circulation, et cela dans le même temps. Mais on conçoit que le premier mode tendra à gagner sur le second, qui cessera dès que toute la masse externe ne sera plus parfaitement fluide. La partie superficielle se refroidira alors très rapidement; une croûte externe se formera et s'accroîtra de haut en bas, bien plus vite que la solidification n'aura lieu au-dessus du noyau central antérieurement consolidé. Le globe pourra donc être composé d'une enveloppe solide et d'un noyau central également solide, séparés l'un de l'autre par la matière fondue, mais moins fluide que celle qui pouvait exister vers le centre dans la première hypothèse. Quant à

Digitized by Google

l'épaisseur de la croûte externe, elle pourra être, comme dans le premier cas, très faible relativement au rayon. Mais dans l'état actuel de nos connaissances, dit M. Hopkins, il n'est pas possible de prononcer si la croûte externe et le noyau solide sont à présent réunis, ou s'ils sont encore séparés par la matière en fusion.

Ainsi, tout en admettant avec Poisson que la solidification a pu commencer par le centre, le savant professeur de Cambridge est loin de penser que la surface s'est solidifiée la dernière, car il est évident que l'encroûtement a dû se produire à la surface avant que toute la partie interne fût devenue solide, distinction que M. Hopkins considère comme très importante pour l'explication des phénomènes géologiques subséquents. En résumé, si l'on regarde le globe comme ayant été originairement à l'état de fluidité parfaite, on ne peut pas, dit-il, arriver encore à des conclusions plus précises que les suivantes :

1° Le globe peut être formé d'une enveloppe extérieure solide et d'une masse interne dont la fluidité est la plus grande au centre. L'épaisseur de l'enveloppe peut être très faible comparée au rayon, et la fluidité au centre approcher de celle qui admet le refroidissement par circulation ;

2° Le globe peut être formé d'une enveloppe extérieure solide et d'un noyau central également solide, séparés l'un de l'autre par une matière en fusion. L'épaisseur de la croûte et le rayon du noyau solide peuvent être très faibles eu égard au rayon de la terre, et la fluidité de la masse intermédiaire est alors beaucoup moindre que celle qui permet le refroidissement par circulation ;

3° Enfin, la terre peut être solide de la surface jusqu'au centre.

L'observation directe du mode de refroidissement du globe, en lui supposant une origine fluide ignée, nous laisse donc encore très incertain sur l'état actuel de sa partie centrale. Cette incertitude résulte, non de l'imperfection de la partie mathématique des recherches, mais du manque de détermination expérimentale de valeurs qu'il sera toujours très difficile, sinon impossible, de déterminer avec exactitude.

M. Hopkins recherche ensuite si l'on ne trouverait pas des preuves de la fluidité centrale dans les phénomènes de la précession et de la nutation, car l'action directe des forces qui les produisent doit être très différente sur la partie interne, suivant que celle-ci est solide ou liquide. On a démontré que ces phénomènes étaient d'accord avec la solidité interne supposée dans certaines hypothèses rationnelles relativement à la loi de densité, mais ils ne paraissent pas avoir été

Digitized by Google

étudiés relativement à la fluidité interne supposée, et c'est ce problème dont l'auteur s'occupe particulièrement. Après avoir appliqué successivement l'analyse à l'attraction du soleil sur la croûte solide, comme à celle de la lune, puis à la pression exercée intérieurement sur les parois de la croûte par la masse fluide soumise à l'attraction solaire et lunaire, et enfin à la force centrifuge, il considère la tendance des forces agissant sur le fluide interne pour le mettre en mouvement, et trouve qu'en réalité les actions du soleil et de la lune ne déterminent point cette tendance, et que l'axe de rotation instantané du fluide interne sera exactement semblable à celui de la croûte, et de même ordre. Enfin, il arrive (pag. 413) à ces autres conclusions :

1° Quelle que soit l'épaisseur de l'enveloppe, la précession sera la même que si toute la terre était homogène et solide ;

2° La nutation lunaire sera la même que pour un sphéroïde homogène, et à un tel degré d'approximation que la différence est inappréciable à l'observation ;

3° La nutation solaire sera aussi sensiblement la même que pour le sphéroïde homogène, à moins que l'épaisseur de la coque ne soit très approchée d'une certaine valeur un peu moindre que 1/4 du rayon terrestre, auquel cas cette nutation deviendra beaucoup plus grande que pour le sphéroïde solide ;

4° Outre ces mouvements de précession et de nutation, le pôle de la terre aurait un petit mouvement circulaire dépendant entièrement de la fluidité intérieure. Le rayon du cercle ainsi décrit serait le plus grand lorsque l'épaisseur de l'écorce serait la moindre, mais l'inégalité ne pourrait excéder, pour la plus faible épaisseur de l'écorce, une quantité de même ordre que la nutation solaire.

Dans un second mémoire (1), M. Hopkins a traité la même question en supposant l'intérieur de la terre fluide et hétérogène, ou mieux, le fluide interne et l'écorce comme étant des corps de nature différente. Parmi les problèmes qu'il a examinés se trouve celui de la permanence de l'inclinaison de l'axe de la terre, depuis la première formation de la croûte, et en admettant que la solidification ait commencé par la surface.

Enfin, dans la troisième série de ses recherches (2), l'auteur s'occupe de l'épaisseur et de la constitution de la croûte terrestre, et en

---

(1) *Philos. transac. of the r. Soc. of London.* 1840, part. I, p. 193.
(2) *Ibid.* 1842, part. I, p. 43.—*An. des sc. géol.*, vol. I, p. 523 — *L'Institut*, n° 441.

Digitized by Google

particulier du minimum d'épaisseur compatible avec la valeur de la précession observée. Dans le cas de la terre, le passage de la partie fluide à la partie solide n'est pas immédiat, comme il l'avait d'abord supposé. Si l'on considérait comme fluide toute la masse qui n'est pas parfaitement solide, ou comme solide toute celle qui n'est pas parfaitement fluide, on donnerait une trop faible ou une trop grande épaisseur à la croûte ; aussi M. Hopkins admet-il une surface d'égale fluidité, ou si l'on veut d'égale solidité, intermédiaire aux deux surfaces de parfaite solidité et de parfaite fluidité, et telle que, si tout ce qui est au-dessus était parfaitement solide et tout ce qui est au-dessous complétement fluide, la précession et la nutation seraient les mêmes que dans le cas où le passage de la solidité de la croûte à la masse fluide interne serait graduel et continu. Il nomme cette surface, *surface effective interne*, et sa distance à la surface extérieure, *épaisseur effective de la croûte*.

Le degré de solidité et de fluidité d'un point quelconque de l'intérieur du globe dépend en partie de sa température et de la pression qui s'y exerce, et après avoir indiqué, d'une manière relative, la surface de même fluidité ou solidité passant par ce point, M. Hopkins fait voir que la détermination des formes des surfaces isothermes à l'intérieur du sphéroïde est entièrement approchée lorsque l'ellipticité est petite, et le temps pendant lequel le refroidissement a lieu est très grand, comme on peut le supposer pour la terre.

Il déduit de la marche analytique du problème, qu'il faudrait descendre à une profondeur égale à environ 1/5 du rayon terrestre avant d'arriver à la surface d'égale fluidité avec une ellipticité de la valeur exigée, c'est-à-dire que l'épaisseur effective de la croûte doit être égale à 1/4 ou 1/5 au moins du rayon terrestre pour que la précession ait la valeur observée.

Ce résultat de calculs assez compliqués fait penser à l'auteur qu'il n'y a point, comme on l'a supposé, de communication entre les orifices volcaniques et la surface du noyau fluide interne, et que la matière fondue des volcans actuels se trouve dans des réservoirs d'une étendue limitée, constituant des lacs souterrains, mais non un véritable océan. Il attribue à la même cause la plupart des grands soulèvements reconnus, excepté peut-être le plus ancien, car à l'époque de ces divers soulèvements la croûte terrestre était déjà d'une énorme épaisseur. Cette supposition de lacs souterrains ignés, à une faible profondeur, s'accorde d'ailleurs avec les recherches fondées sur les principes de la mécanique pour les phénomènes d'élé-

vation, tels qu'il les a donnés dans son *mémoire sur la géologie physique* (1), et dont nous parlerons en traitant de la théorie des failles, des fissures et des soulèvements. Ces parties fluides, placées au milieu de la croûte solide, de même que leur permanence dans cet état, seraient dues à une plus grande fusibilité de la matière qui les constitue.

Comme conséquence de ses mémoires précédents, M. Hopkins insiste de nouveau sur la permanence de l'inclinaison moyenne de l'axe terrestre, sur le plan de l'écliptique (pag. 53), en faisant remarquer que les preuves de cette permanence n'avaient été jusqu'alors basées que sur l'hypothèse de la solidité entière du globe, présomption qui, quel que soit l'état actuel de notre planète, ne peut jamais être admise comme nécessairement applicable à toutes les époques antérieures à l'existence des êtres organisés à sa surface. Mais cette proposition étant démontrée vraie, en l'appliquant à la terre depuis l'origine de son enveloppe externe solide, doit faire regarder comme essentiellement fausse toute hypothèse établie sur le changement de position de l'axe de la terre, soit que l'on suppose l'intérieur avoir été solide et fluide, soit qu'on le suppose encore tel aujourd'hui.

Plus loin, l'auteur démontre que quand même la pression des éléments de la terre ne serait pas telle qu'il en résultât la solidification d'une partie de la masse, la conclusion relative à l'épaisseur de la croûte terrestre serait encore vraie *à fortiori*. Ainsi, la détermination de la dernière limite à cette épaisseur est indépendante de l'effet inconnu de pression, ou, en d'autres termes, de la détermination expérimentale des températures de fusion, pour différentes substances sous de hautes pressions.

Il a fait voir également que la température actuelle de l'intérieur de la terre ne peut être due à sa chaleur originaire, si la température de fusion pour la matière est indépendante de la pression à laquelle la matière fondue est soumise; car dans ce cas elle doit être sans doute suffisante à la profondeur de 1/4 ou 1/5 du rayon terrestre pour fondre toutes les roches de la partie solide sous la pression de l'atmosphère; par conséquent, à ces profondeurs, la matière serait à l'état de fusion, et la croûte de la terre devrait être

(1) *Researches in physical geology*. Recherches sur la géologie physique (*Transac. of the Cambridge Phil. Soc.*, vol. VI, p 1. 1835-1836).

Digitized by Google

très mince à moins que la solidification n'ait été déterminée par la pression ; or, comme M. Hopkins a prouvé que cette croûte ne pouvait être très mince, il en résulte que sa proposition est démontrée, c'est-à-dire que la température de fusion est dépendante de la pression à laquelle elle est soumise.

Nous n'avons pu faire connaître que très succinctement les principaux points de la question à laquelle M. Hopkins a appliqué les calculs très variés de l'analyse, et quelques uns des résultats qu'il en a déduits, mais ils suffiront peut-être pour indiquer la voie dans laquelle il s'est engagé, et que nous désirerions voir suivie par les personnes qui, familiarisées comme lui avec le mécanisme des formules, le sont également avec toutes les données de la physique expérimentale et les résultats de la géologie moderne. Les conclusions de l'auteur sont sans doute encore plutôt négatives que positives, mais elles témoignent du désir de chercher la vérité avec une extrême bonne foi, et sont beaucoup plus utiles que ces hypothèses hardies et tranchantes basées sur des éléments incomplets et qui s'écroulent devant le plus simple bon sens. M. Hopkins, dans ses applications directes des mathématiques à certains pays affectés par l'action des forces souterraines, et dont nous aurons occasion de parler, a fait voir quel parti on pouvait tirer de ce mode de recherche, lorsqu'on possédait également bien et sans idée théorique préconçue tous les éléments d'un problème, à quelque ordre d'idées ou de faits qu'ils appartiennent.

M. Gustave Herschel a publié, *sur le refroidissement primitif du globe* (1), une notice dans laquelle il attribue une grande influence aux diverses manifestations du fluide électrique. Ainsi, il trouve la cause du développement de la chaleur qui a dû contribuer à la formation de la terre, tant dans le passage de la matière élémentaire à un état d'agrégation plus dense, que dans les réactions provoquées par les différences électro-chimiques que nous offre la matière. La terre, suivant lui, serait restée longtemps dans l'état d'incandescence et de fluidité, le rayonnement de la chaleur n'ayant pu se faire seulement qu'à travers l'atmosphère de vapeurs et de gaz qui l'enveloppaient alors. Le refroidissement et la consolidation de la croûte terrestre auraient commencé par les pôles comme nous avons vu que l'avait admis M. Ladame. Le refroidissement de l'atmosphère aux

(1) *Neu. Jahrb.*, n° 4. 1841.— *An. des sc. géol.*, vol. I, p. 405. — *L'Institut*, 16 juin 1842. — *L'Écho*, 31 juillet 1842.

Digitized by Google

extrémités de l'axe aurait occasionné un flux continuel des couches d'air et des masses de vapeurs vers les régions polaires, d'où serait résultée la précipitation d'énormes masses d'eau qui ont dû s'écouler ensuite vers les régions équatoriales. Mais l'auteur attribue à ces actions des conséquences que nous ne pouvons admettre, telles que l'aplatissement du sphéroïde et la dispersion des blocs erratiques; effets dus à des causes entièrement distinctes, et qui sont séparés dans le temps par tout ce que l'on peut appeler la vie inorganique et organique de la terre, car l'un est antérieur même à sa première consolidation, et l'autre a précédé immédiatement l'état actuel des choses.

Le dérangement d'équilibre de température produisant des phénomènes thermo-électriques, M. G. Herschel en conclut que le refroidissement de la terre et sa solidification ont dû être le principe des développements d'électricité les plus importants. Ces tensions électriques auraient été les plus faibles là où le rayonnement était à son minimum et la température de la masse du sol la plus élevée. Ainsi, c'est aux pôles qu'elles devaient atteindre leur maximum et qu'elles se sont maintenues, puis elles diminuent vers l'équateur, et les courants électriques actuels seraient une conséquence du mouvement de rotation de la terre, combiné avec la chaleur solaire qui s'exerce successivement à la surface du globe pendant les périodes diurne et annuelle. Ici, l'auteur nous semble réunir, sans une analyse et des développements suffisants, les effets qu'il attribue à la chaleur propre du globe et ceux qui résultent de l'influence solaire. Les variations de l'aiguille à diverses époques se rattacheraient aussi, suivant lui, aux mouvements du sol, et seraient dues à des changements de température de la croûte terrestre sur ces points. Enfin les variations diurnes de l'aiguille et les perturbations locales de la déclinaison seraient encore des résultats de l'influence solaire, de même que les aurores boréales et australes sont des phénomènes électriques dus à des courants qui règnent entre les pôles terrestres et l'atmosphère.

Une autre manière d'envisager le mode de refroidissement du sphéroïde a été proposée par M. le marquis de Roys (1), qui, partant de ce principe, que, dans un corps qui change d'état, sa température apparente ne varie pas, bien que dégageant ou absorbant du calorique, en conclut que jusqu'au moment de la solidification com-

(1) *Bull.*, vol. XIII, p. 238. 1842.

Digitized by Google

plète du globe, la température actuelle de la masse liquide et par conséquent son volume ne doivent pas varier.

Les causes du refroidissement, continue M. de Roys, sont toutes extérieures, et toutes les roches, celles du moins qui composent la surface, étant mauvais conducteurs, ces causes ne peuvent étendre leur influence au dedans que par une transmission nécessairement très lente; et comme elles agissent toujours à la surface, il en résulte que, jusqu'au moment où cette surface a atteint la limite de son refroidissement, elle perd beaucoup plus de calorique que l'intérieur ne peut lui en fournir. Les couches extérieures devront donc se contracter plus vite que celles de l'intérieur, et exercer une pression qui empêchera la formation de vides internes. L'inverse aura lieu lorsque le refroidissement de la surface aura atteint sa limite; la croûte extérieure aura alors une dimension constante, et il se formera des vides à l'intérieur. Or, la température de la surface s'étant encore abaissée pendant la période tertiaire, comme on est porté à le penser d'après certaines considérations paléontologiques, l'auteur conclut que la limite du refroidissement de la surface n'est pas encore atteinte, et qu'il n'y a par conséquent pas à l'intérieur de vides, qui aient pu déterminer des affaissements de la croûte solide, et auxquels on puisse attribuer les anciennes révolutions du globe.

Passant au mode de formation des premières roches, M. de Roys fait voir qu'au commencement l'eau se trouvait à l'état de vapeur dans l'atmosphère, dont elle devait occuper la partie supérieure, étant environ un tiers plus légère que l'air. Son contact avec les espaces célestes la privait de son calorique, et elle retombait sous forme de véritables torrents sur la surface incandescente du globe, d'où elle s'élevait bientôt de nouveau à l'état de vapeur. Ces alternances de condensation et de vaporisation continuèrent jusqu'à ce que la surface fût assez refroidie pour permettre le séjour de l'eau liquide dans ses dépressions. Ces vaporisations successives enlevaient en outre une grande quantité de calorique à la surface incandescente, et devaient hâter son refroidissement et par suite sa solidification. Lorsque les eaux commencèrent à se maintenir à la surface, la température était cependant encore assez élevée pour que les alternances de vaporisation ou de condensation se continuassent pendant longtemps, quoiqu'avec une énergie d'autant moindre que la température s'abaissait davantage; et ce fut pendant cette période que se déposèrent les premières assises de roches schisteuses non cristal-

Digitized by Google

lines, tandis que les roches solidifiées plus tard prirent un caractère de plus en plus cristallin.

Par suite de ce qui a été dit, les assises superficielles doivent tendre à se contracter jusqu'à ce qu'elles aient atteint la limite de leur refroidissement, et elles se contracteraient, en effet, sans la résistance opposée par la masse liquide, dont le volume est resté constant. La pression qui en résulte empêche la formation des vides, et l'enveloppe solide éprouve une tension d'autant plus grande que le refroidissement fait plus de progrès.

Le premier effet de cette pression dut être de modifier la forme du globe et de la rapprocher de la sphéricité qui, pour une même surface, offre le maximum de volume; mais le mouvement de rotation continuant, il ne put l'atteindre. Les eaux, qui étaient d'abord répandues à la surface de la terre, obéirent à la force centrifuge lorsque la forme du sphéroïde fut modifiée par la tension de l'enveloppe solide, et leur puissance s'augmenta à l'équateur, tandis qu'elle diminuait aux pôles. Les actions solaires et lunaires, s'exerçant librement sur cet océan sans bornes, produisaient un mouvement de flux et de reflux dont l'axe devait être à peu près celui de l'écliptique, et d'où résultaient aussi de grandes variations dans la hauteur des eaux vers les pôles. La tension de l'enveloppe, augmentant par ces actions réfrigérantes, finit par l'emporter. Il y eut rupture, suivant des lignes non parallèles entre elles, mais perpendiculaires à un même grand cercle, et les matières liquides de l'intérieur s'élevèrent dans ces fractures. Un dégagement considérable de calorique produisit en même temps une immense vaporisation, et par suite une énorme chute d'eau. Les roches injectées solidifiées, les bords des fractures relevés, des dépressions parallèles produites par la réaction des déchirures, tels furent les effets qui commencèrent à rendre très inégale la surface de la terre.

L'augmentation de capacité pour le calorique, donnée à l'écorce solide par la tension qu'elle éprouvait, a produit ensuite un froid relatif très intense dans les couches contiguës d'air et d'eau. Ce froid s'est opposé à l'existence des êtres qui vivaient auparavant et qui étaient organisés pour une température plus élevée. Ainsi pourrait s'expliquer le renouvellement des animaux et des végétaux lors des grandes révolutions du globe, et l'auteur arrive par une série de phénomènes de ce genre à la période des glaciers anciens, que l'on suppose avoir mis fin à l'époque tertiaire. M. de Roys explique égale-

Digitized by

ment le métamorphisme des roches par l'élévation de température qui se produisait à la suite des ruptures de l'écorce solide, et qui, occasionnant aussi à la surface une grande évaporation, donnait lieu à un véritable déluge, par la condensation et la précipitation, et par suite à un dépôt de transport diluvien, au commencement des grandes formations. Aujourd'hui, la surface du globe paraissant avoir atteint la limite de son refroidissement, le volume de l'enveloppe demeurera constant, et il pourra se former des vides au dedans; mais, dans toutes les périodes antérieures, elle était loin de cette limite.

Le principe qui sert de base à l'hypothèse de M. de Roys a été combattu par M. Angelot (1), du moins dans son application au refroidissement du globe, et il semble, en effet, que la permanence de température d'un corps qui change d'état n'est nécessaire que pour la partie même de ce corps qui change, va changer ou vient de changer, et non pour toute la masse, quelque étendue qu'elle soit, et quelles que soient la température et la composition de ses diverses parties. Rappelant ensuite cette circonstance, que dans les balles de plomb fondu il existe constamment une *chambre* excentrique, comme l'a constaté M. Leblanc (2), et dans le cas de la terre, la gravité étant vers le centre même du globe, la chambre doit tendre à s'y former dans toutes les directions et à devenir, non pas excentrique comme dans les balles, mais bien concentrique. Si à une certaine époque, la chambre concentrique est devenue complète, il s'y sera formé une seconde sphère solide, et ces circonstances se reproduisant par le refroidissement continu, on conçoit que la terre pourrait être composée d'une série de sphères concentriques emboîtées les unes dans les autres. M. Angelot ne regarde pas d'ailleurs le refroidissement comme terminé, mais seulement comme étant plus faible que dans la période tertiaire, et se continuant encore.

A cette occasion, M. Dufrénoy (3) a fait remarquer, d'après des calculs de M. Élie de Beaumont, que la densité moyenne de la terre, suivant M. Reich, étant 5,44 et celle des roches de la surface 2,75, celle des matières situées vers le centre doit être bien supérieure à 5,44. Si l'on suppose le globe formé de trois couches concentriques d'égale épaisseur, et dont les densités soient en progression arithmé-

(1) *Bull.*, vol. XIII, p. 245. 1842.
(2) *Ibid.*, vol. XII, p. 140. 1841.
(3) *Ibid.*, vol. XIII, p. 251. 1842.

Digitized by Google

tique, la plus extérieure sera 2,75, la moyenne 10,82, et celle du centre 18,89. Or, ces deux dernières sont presque égales à la densité de l'argent (10,47) et à celle de l'or (19,26). En admettant un plus grand nombre de couches, la densité de celle du centre serait encore plus considérable. Ces densités se rapportent d'ailleurs aux densités effectives des matières qui composent le globe, eu égard à leur température et aux pressions auxquelles elles sont soumises ; mais ces résultats numériques ne nous apprennent rien sur la nature chimique de ces matières.

En recherchant si, dans l'état actuel des choses, la température moyenne de la surface du globe décroît plus ou moins rapidement que la température moyenne de la masse interne, M. Élie de Beaumont a aussi démontré (1) que le refroidissement annuel de la surface est plus grand que celui de la masse totale du globe pendant un laps de 38,359 ans, à partir de l'origine du refroidissement, et qu'ensuite le refroidissement moyen annuel de la masse surpasse celui de la surface, et cela de plus en plus. Si, d'après ces ingénieuses recherches du géologue éminent que nous venons de citer, on pouvait, connaissant la température moyenne actuelle de la surface, en déduire à quel moment de cette grande période nous nous trouvons, et si l'on savait actuellement que le refroidissement de la masse n'est pas plus grand que celui de la surface, bien que nous ne connaissions pas le calorique spécifique moyen de la masse, il semble qu'un grand pas serait fait vers la connaissance de l'ancienneté de notre planète, ou du moins, du temps qui s'est écoulé depuis son premier refroidissement.

M. Angelot (2) a rattaché à l'accroissement de densité des couches terrestres vers l'intérieur des observations de M. G. Bischof (3), qui établissent que les roches ignées se contractent diversement en passant de l'état liquide à l'état solide. Ainsi le granite se contracte de 1/4, le trachyte de un peu moins de 1/5 et le basalte de un peu plus de 1/10. On avait admis *à priori* qu'à l'intérieur de la masse liquide les substances fondues étaient rangées dans l'ordre de leur pesanteur spécifique, et la pesanteur spécifique des roches, dans l'ordre général de leur apparition à la surface, montre que celle du granite est la plus faible ; puis viennent celles des basaltes et des laves. Les expé-

(1) *Comp. rend.*, vol. XIX, p. 1327. 1844.
(2) *Bull.*, vol. XIV, p. 49. 1842.
(3) *Neu. Jahrb.*, p. 565. 1841.

riences de M. Bischof confirmeraient complétement cette manière de voir, et l'anomalie qui semble résulter de ce qu'à l'état solide la densité du trachyte est moindre que celle du granite, disparaît, dit M. Angelot, lorsque l'on considère ces roches à l'état liquide; ainsi on trouve pour le granite 1,99, pour le trachyte 2,17 et pour le basalte 2,69; or, l'époque de l'apparition de ces roches se trouve en raison inverse de leur densité à l'état liquide, et par conséquent dans l'ordre où la théorie les indiquait à l'intérieur.

On a aussi observé qu'à mesure qu'on s'enfonce dans la terre les proportions d'oxygène et de silice diminuent, et en même temps la contractilité des roches, tandis que la quantité de fer augmente comme élément chimique. Si cette observation se généralisait, ainsi que le remarque M. Angelot, et que la progression existât réellement, on arriverait à avoir, pour le centre de la terre, quelque chose d'analogue aux masses de fer météorique, dont ce métal forme les 9/10. Le silicium y a presque disparu, ainsi que l'oxygène, ce qui d'ailleurs s'accorderait avec ce que nous avons dit (*anté* p. 7), que les masses de fer météoriques pouvaient être les noyaux de petits astres dépouillés de leur croûte extérieure oxydée.

M. F. de Boucheporn s'est aussi occupé de l'origine du globe et de son mode de formation, surtout au point de vue chimique. Dans ses *Études sur l'histoire de la terre* (1), il n'a point suivi la même marche que nous, pour l'exposition des idées et des faits; aussi commencerons-nous l'examen de sa théorie par le chapitre IX, qui, bien que ne formant, suivant lui, qu'une partie accessoire de son ouvrage, par cela même qu'il traite de l'histoire chimique du globe ou de l'état originaire et des transformations des matériaux qui composent son écorce observable, doit précéder l'examen des phénomènes de beaucoup postérieurs, lesquels font l'objet spécial du livre dont nous allons nous occuper.

Quoique pénétrant assez haut dans l'échelle géologique, le granite forme en réalité la base de tous les terrains. A ce caractère d'universalité du granite M. de Boucheporn oppose la salure des mers, qu'il regarde comme ayant une origine contemporaine de celle du granite lui-même; car la connaissance que nous avons des animaux les plus anciens porte à penser que les mers étaient salées dès le commencement. Or, n'est-il pas remarquable, ajoute l'auteur, que des deux principaux alcalis répandus à la surface du globe, l'un, la soude, soit

(1) In-8 avec carte et planches. Paris, 1844.

Digitized by Google

pour ainsi dire isolé et concentré dans la grande dissolution marine, tandis que l'autre, la potasse, caractérise exclusivement le premier revêtement solide de l'écorce terrestre, formant la base active et fondante du feldspath et du mica. Tout le feldspath des roches anciennes est, en effet, à base de potasse.

M. de Boucheporn insiste (p. 215) sur ce caractère particulier du granite, de présenter le quartz, de beaucoup le plus infusible de ses éléments, comme une pâte amorphe enveloppant les cristaux de substances bien plus fusibles (mica, feldspath, tourmaline, amphibole, etc.). Tous les éléments de la roche ayant d'ailleurs pris en même temps, sous l'influence ignée, la disposition qu'ils occupent, il suppose, pour l'expliquer, qu'une formation s'est déposée dans le bassin des mers primitives à l'état d'un dépôt chimique silicaté, dont les éléments auraient pu former des groupements partiels, capables de céder à l'action de la chaleur, comme, dans certains fourneaux, la température sépare les scories fusibles, de la masse métallique moins susceptible d'être ramollie. Une chaleur adventice, venant ensuite à s'exercer sur ce précipité, y aurait déterminé la formation des composés fusibles (feldspath et mica), et l'élément réfractaire, le quartz, isolé à l'état naissant, se serait aggloméré sur ces noyaux fluides sans fusion complète, mais à un certain état de mollesse; de sorte que la séparation du quartz serait une espèce de précipitation par résistance à la fusion, phénomène dont les conditions sont très différentes d'une solidification par refroidissement.

Dans une addition au chapitre IX, placée à la fin de son ouvrage, l'auteur a prévenu en quelque sorte lui-même les objections qui pouvaient être faites à son hypothèse; car il dit, en parlant de la silice: On doit même supposer cette substance à l'état gélatineux, état qu'elle prend, en général, lorsqu'elle est formée dans l'eau, au moyen d'un composé de silicium, et cela aiderait à concevoir ce moulage du quartz sur les matières fusibles.

Mais déjà M. Élie de Beaumont (1), par suite des recherches de M. Gaudin sur la fusion du quartz, avait fait observer que la silice, en se refroidissant, a la propriété de rester visqueuse pendant un certain temps, tandis qu'il n'en est pas de même de l'alumine, qui se montre en quelque sorte l'inverse de la silice. Dans les granites et les porphyres il y a toujours beaucoup de silice en excès, mais dans les trapps et les basaltes ce sont les bases qui dominent;

(1) *Société philomatique*, 4 mai 1839. — *L'Institut*, 16 mai 1839.

Digitized by Google

et celles-ci passent très rapidement à l'état solide, en perdant très peu de leur chaleur dans ce passage. Non seulement cette observation de M. de Beaumont rend suffisamment compte de l'état du quartz dans les granites, état dont beaucoup de personnes se sont préoccupées depuis Breislak ; mais elle peut être regardée comme la base des idées que M. Fournet a développées, en 1844, *Sur l'état de surfusion du quartz dans les roches éruptives et dans les filons métallifères* (1).

Ce dernier, après avoir rappelé les substances telles que l'eau, le soufre, le phosphore et beaucoup de dissolutions salines qui se maintiennent à l'état liquide en-deçà du point où leur dissolvant a été saturé à chaud, fait remarquer que, dans cet état de *surfusion* ou de *sursaturation*, ces matières sont susceptibles de résister à l'influence des corps étrangers, et que la silice a pu de même rester à l'état de surfusion, étant douée d'une viscosité qui ne peut qu'augmenter les effets mentionnés pour le soufre et le phosphore. On conçoit alors, dit M. Fournet, que les substances les plus cristallisables d'un magma se façonnent les premières en imprimant leurs arêtes et leurs angles sur la pâte molle qui les environne. Lorsque le refroidissement est arrivé à un degré convenable, cette pâte cristallise à son tour ; et comme la température a pu être telle, que les corps environnants n'aient pas perdu toute plasticité, il s'est produit les empreintes réciproques que l'on voit si fréquemment.

Cette explication n'a cependant point paru suffisante à M. Durocher (2), parce que les différences que l'on connaît, entre les degrés de température correspondant à la congélation et à la liquéfaction d'une même substance, ne s'élèvent pas à 100°. Elles sont beaucoup trop faibles pour expliquer la cristallisation, avant le quartz, du feldspath, de la tourmaline et du grenat, puisque la différence entre leurs points de fusion est de plusieurs centaines de degrés.

M. Durocher suppose que, lors de l'état fluide de la masse, le feldspath, le mica et le quartz formaient un tout homogène, composé de silice, d'alumine, de bases alcalines et terreuses, etc., et qui serait resté fluide, en perdant de sa chaleur et en conservant tous

(1) *Comp. rend.*, vol. XVIII, p. 1050. — *An. de la Soc. d'agric. de Lyon*. 1844. — Voyez aussi : Fuchs, *Sur la théorie de la terre*, etc. Munich, 1844.

(2) *Sur l'origine des roches granitiques. Comp. rend.*, vol. XX, p. 1275. 1845. — Voyez aussi : Th. Scheerer, *An. de Poggendorff*, vol. LVI, p. 479. — Schafhault, *Neu. Jahrb.* 1845, cah. 7, p. 858. — *Bull.*, 2e sér., vol. IV, p. 477. 1847.

Digitized by Google

ses éléments combinés, jusqu'à une température peu supérieure à celle qui détermine la liquéfaction du feldspath. D'un autre côté, la composition la plus générale qu'il ait trouvée dans les granites étant : feldspath 40, quartz 25, mica 15, il compare la composition élémentaire moyenne du granite très feldspathique et très micacé, à celle de certains pétrosilex, et fait remarquer qu'il existe entre ces derniers une analogie frappante, les proportions de silice et d'alumine y étant à peu près les mêmes, et l'alcali étant seulement plus abondant dans les granites. Or, si les pétrosilex sont si fusibles, dit ce géologue, les granites pris en masse, à l'état rudimentaire, ont dû l'être au même degré, puisque leur composition est analogue. D'ailleurs les silicates multiples combinés ensemble sont beaucoup moins réfractaires qu'ils ne le seraient pris isolément. Ainsi, les masses granitiques ont pu se maintenir, après leur éruption, dans un état de fusion pâteuse, jusqu'à une température voisine de celle qui correspond à la liquéfaction du feldspath, et constituant une seule combinaison minérale ; c'est à ce moment que peut venir s'appliquer l'hypothèse proposée par M. Fournet.

Depuis l'instant où le départ s'effectue dans le magma granitique, et où il s'en sépare trois ou quatre combinaisons définies (l'orthose, l'albite, le mica, le quartz), si la température est peu élevée au-dessus de celle qui détermine la solidification des éléments les plus fusibles, ceux-ci mettront plus de temps à passer à l'état solide. Mais dans ce passage, ceux qui prennent d'abord l'état visqueux, comme la silice, peuvent se solidifier moins vite, et alors le feldspath aura cristallisé avant le quartz. D'ailleurs les empreintes du quartz dans les cristaux de feldspath montrent aussi que ces éléments sont passés presque en même temps à l'état solide. Dans les granites, le cas le plus général est, comme on sait, le quartz amorphe ou compacte, qui a formé une masse vitreuse, et qui a servi de ciment dans lequel le feldspath et le mica ont dû cristalliser.

Ainsi ce problème important de géologie chimique, par le concours simultané de ces recherches, paraît être bien voisin d'une solution complète. Il a dû nous arrêter d'autant plus que, comme le remarque M. de Boucheporn, cet état du granite a été et est encore aujourd'hui invoqué tour à tour, à l'appui des deux théories opposées du vulcanisme et du neptunisme, et le même phénomène a servi d'arme aux défenseurs de l'une et l'autre hypothèses; mais revenons à l'*Essai sur l'histoire de la terre*.

De ce que la potasse a, en général, plus de tendance que la soude

Digitized by Google

à former des composés insolubles dans certains cas donnés, il en résulte que la première se précipitera plus tôt que la seconde; et si les deux alcalis viennent à se trouver en présence des acides fluosilicique et muriatique, en quantité nécessaire pour leur saturation, la potasse se précipitera en fluosilicate, laissant la soude dissoute à l'état de sel marin. Or, dans la nature, nous voyons le fluor avec la potasse dans le granite, et de l'autre, le chlore avec la soude dans l'eau de mer (p. 225). « Ainsi, dit l'auteur, l'exclusion réciproque de » deux corps aussi rapprochés chimiquement que le chlore et le fluor, » en regard de l'exclusion réciproque aussi de la soude et de la po- » tasse, forme un double résultat d'une concordance merveilleuse » avec le principe chimique que je viens d'exposer. » La raison de ces faits se trouve pour lui dans la formation du granite par la voie humide.

Le dépôt silicaté, que M. de Boucheporn suppose être l'élément premier du granite, n'éprouvant pas, sur le bord des parties échauffées localement, de transformations aussi complètes, parce que la pression y était moindre, diverses substances s'en dégageront par l'élévation de la température, se porteront sur les roches sédimentaires en contact, les modifieront et donneront lieu à ce que l'on a appelé des roches métamorphiques; tels sont les gneiss et les micaschistes. Ces résultats sont d'ailleurs tout à fait distincts des phénomènes de contact par le granite, lesquels n'ont jamais qu'une très faible épaisseur. De toutes les roches primitives, le granite seul serait le produit d'un précipité chimique. Les roches stratifiées primaires, au contraire, auraient été formées mécaniquement, aux dépens de ce premier dépôt dans son état originaire, puis transformées avec lui, plus tard, par la pénétration intermittente de la chaleur.

Il est naturel de penser (p. 233) que les corps, à l'origine de la terre, se trouvaient groupés en combinaisons définies, suivant les affinités particulières de la voie ignée; mais la présence de l'oxygène apportant de grandes difficultés pour bien concevoir ce premier état du globe, M. de Boucheporn ne recule pas devant l'hypothèse hardie de supposer à ce gaz, que nous avons vu entrer en si grande proportion dans la croûte du globe, une origine étrangère à celle des autres substances qui le composent. En en faisant abstraction, ces autres corps lui paraissent pouvoir être renfermés dans un nombre limité de combinaisons simples, déduites des affinités calorifiques, d'où l'oxygène lui-même aurait ensuite extrait les combinaisons variées que nous avons sous les yeux.

Digitized by Google

L'auteur, ainsi qu'on l'a déjà vu, regardant les idées de Buffon et de Laplace comme peu compatibles avec la théorie chimique, pense que les planètes sont étrangères au soleil et dérivent toutes d'une impulsion simultanée vers la sphère d'attraction dominante de cet astre. Il y aurait eu alors *succession* dans la provenance des deux parties constituantes du système, l'astre central d'une part, et les planètes ou ses satellites de l'autre. Si le soleil, comme le suppose en outre M. de Boucheporn, n'avait pas encore sa rotation lorsque le système de ses satellites est entré dans sa sphère d'activité, il a pu être entouré d'une atmosphère qui s'étendait jusqu'à la terre et au-delà; et en supposant que ce fluide fût de l'oxygène pur, qui n'entrait pas positivement dans la composition originaire des planètes, il a dû en résulter, pour la terre par exemple, des conséquences très remarquables. Cette hypothèse, que l'on accordera sans doute difficilement à l'auteur, est cependant la base fondamentale de sa théorie chimique de la terre.

Parmi les corps les plus légers existant à la surface du globe, on doit, dit-il, compter l'hydrogène, et son contact avec l'oxygène, sous l'action d'une haute température, a produit l'eau. Telle est l'origine des mers. En supposant encore qu'au commencement l'hydrogène fût uni au carbone et à l'azote, il formait avec ce dernier de l'ammoniaque, et de la combustion de ces sels ammoniacaux il serait encore résulté de l'eau, puis de l'azote; la mer et l'atmosphère. Enfin, l'hydrogène a pu se trouver à l'état d'hydrogène proto-carboné, qui aurait donné lieu à l'acide carbonique de l'air et de l'eau.

Les corps élémentaires que nous connaissons, réunis, à l'origine, sous l'influence ignée et sans la présence de l'oxygène (p. 238), devaient être groupés en combinaisons binaires, quaternaires, etc., dans lesquelles les corps non métalliques se trouvaient unis, comme éléments électro-négatifs, aux métaux qui étaient à l'état de sulfure, de fluorure, de chlorure, etc. L'oxygène et l'eau, agissant ensuite sur ces corps, auraient produit toutes les transformations, d'où résultent les combinaisons actuelles dans lesquelles l'oxygène joue le rôle principal. Alors se seraient formés la silice, l'alumine, la potasse, la soude, la magnésie, la chaux, l'oxyde de fer et les autres bases ou acides minéraux. Pour constituer le revêtement général de granite, ses éléments (silice, alumine, potasse et fluor) se seront trouvés seuls insolubles dans l'enveloppe fluide générale, dans l'eau, tandis que les autres éléments ont pu se trouver tous dissous, pendant cette première période des réactions chimiques de la voie hu-

Digitized by Google

mide. Puis, entrant dans le détail des combinaisons et des réactions chimiques qui auraient eu lieu successivement, détail qu'il nous est impossible de reproduire ni même de présenter d'une manière sommaire, M. de Boucheporn se résume ainsi (p. 245) :

« Telle sera pour nous la composition qu'il est rationnellement
» possible d'imaginer à la surface primitive du globe terrestre, pour
» qu'une oxydation instantanée ait pu y développer les différentes
» combinaisons et les masses distinctes que nous y observons actuel-
» lement : une atmosphère d'hydrogène pur, mêlé peut-être d'hy-
» drogène carboné et d'azote ou de cyanogène, aurait entouré un
» noyau métallifère composé, à la partie extérieure au moins, de
» cyanures et de leur combinaison avec les chlorures, fluorures et sul-
» fures; à ce mélange on peut ajouter, s'il en est besoin, des sels
» ammoniacaux correspondant aux divers acides hydrogénés. Sans
» supposer même à cette masse une chaleur considérable, l'action
» de l'oxygène sur quelqu'un des composés des métaux a dû déter-
» miner une incandescence locale, capable de porter la déflagration
» dans tout le mélange inflammable d'oxygène et d'hydrogène, et
» de produire ainsi subitement la grande masse des eaux, dont les
» vapeurs, se condensant peu à peu sur le noyau même, ont dû
» exercer leur action propre sur les matières qui en formaient le
» revêtement. De là, par la décomposition de l'eau, oxydation des
» métaux, avec dégagement de carbures et sulfure d'hydrogène; de
» là la combinaison de la silice avec l'alumine, la potasse et le fluor
» et leur précipitation immédiate, élément futur des granites; de là
» la dissolution au contraire du chlorure de sodium, avec la quantité
» surexcédante des cyanures et sulfo-cyanures, comprenant ceux de
» calcium et de magnésium, élément futur des calcaires, des dolo-
» mies, et des sulfates alcalins de la dissolution marine. »

Nous avons dit plus haut que M. de Boucheporn ne considérait cette partie chimique de son ouvrage que comme accessoire et n'étant point indispensable à la théorie des révolutions du globe ; aussi ne ferons-nous qu'une remarque relative à la supposition de l'oxygène comme provenant de l'atmosphère solaire, et par conséquent d'une source étrangère à celle des autres substances de notre planète. Cette idée nous semble, en effet, tout à fait opposée à la simplicité des grandes lois de la nature et des moyens qu'elle emploie, simplicité que l'auteur lui-même invoque souvent et avec raison. Si nous remarquons en outre que cette supposition lui a été suggérée uniquement pour favoriser une combinaison chimique, dont il ne pouvait se rendre compte

Digitized by Google

autrement, et parce qu'elle n'aurait pu, suivant lui, réussir en présence de l'oxygène, ne semblera-t-il pas que cette espèce d'expédient de laboratoire offre une disproportion énorme entre un résultat, peut-être même contestable, et la grandeur, nous dirons même l'immensité du moyen invoqué pour l'expliquer?

La théorie générale des révolutions de la terre ne pouvant qu'être indiquée en ce moment, nous remettons à en parler dans le chapitre consacré aux soulèvements, et nous traiterons seulement ici des idées qui se rattachent à l'origine du globe et à ses mouvements.

L'idée théorique fondamentale du livre dont nous nous occupons, c'est l'instabilité de la position de l'axe de la terre, instabilité produite par des chocs de comète. C'est autour de cette hypothèse, déjà bien ancienne, que l'auteur est venu grouper, avec beaucoup de talent, les faits nombreux qu'il a rassemblés. Mais le développement de cette idée ne nous semble pas avoir été amené avec toute la méthode désirable. Il faut en chercher les preuves disséminées çà et là dans les divers chapitres, et nulle part nous n'avons vu discuter, aussi sérieusement que nous l'eussions désiré, la possibilité de cette instabilité même. Ainsi la première mention de changement dans la position de l'axe se trouve à la fin du chapitre IV, et d'une manière tout à fait accessoire, pour expliquer une partie du phénomène erratique. Il en est de même à la fin du chapitre V, qui traite de la théorie des failles d'une manière très élégante et sur laquelle nous reviendrons. Ainsi, la conséquence est posée avant les prémisses. Enfin, le chapitre VI traite du choc de la terre par une comète et des modifications qui ont dû en résulter dans la forme de son enveloppe solide extérieure.

Les géomètres qui se sont occupés du déplacement de l'axe terrestre, dit M. de Boucheporn (p. 145), n'ont considéré le globe que comme une masse solide homogène, au lieu de tenir compte d'une zone fluide placée sous l'enveloppe solide, laquelle dans le déplacement de l'axe de rotation devra se conformer au nouveau mouvement, en modifiant sa forme pour prendre celle de l'ellipsoïde par rapport à un nouvel axe. Mais l'écorce rigide ne pouvant se modifier de la même manière, il y aura des pressions du dedans au dehors, dans le sens du nouvel équateur, d'où résulteront des dislocations régulières et générales sur tout un grand cercle, les fractures planes, les failles et les redressements montagneux. Si l'on examine ce qui arriverait lors du choc d'une comète, tant pour la zone fluide interne que pour la croûte solide externe, on voit que la première se con-

Digitized by Google

formera au nouveau mouvement de rotation, en formant un nouvel ellipsoïde de révolution. La croûte solide, au contraire, ne pouvant suivre le même mouvement, sera rompue et disloquée sur certains points, à cause de l'expansion du liquide dans le sens du nouvel équateur, tandis que sur d'autres elle sera privée d'appui par le déplacement de ce même liquide, et sollicitée alors à se rapprocher du centre.

Après cette espèce d'introduction à son sujet, l'auteur s'attache à démontrer chacun des principes suivants (p. 157):

Premier principe. « Dans le changement de rotation de la terre, » le premier effet des forces d'expansion, qui agissent dans les plans » méridiens en divergence de l'axe, sera de rompre son enveloppe » solide suivant des plans parallèles au nouvel équateur, brisement » dont la disposition reproduit ainsi les trois principaux caractères » des fractures géologiques : l'alignement, le parallélisme et l'incli- » naison sur la verticale. »

Deuxième principe. « Le second effet des forces d'expansion, celui » qui résulte des réactions normales aux divers plans méridiens, est » d'écarter l'une de l'autre les parois des anciennes fissures dont la » direction est transverse à celle du nouveau mouvement de la terre; » ce qui peut répondre au phénomène de l'élargissement des failles » et des filons, quoique l'effet principal ait dû s'exercer plutôt sur » l'approfondissement des vallées. »

Troisième principe. « L'effet des forces centripètes, dans la trans- » formation du mouvement de rotation, et en particulier celui de » la pesanteur de l'enveloppe solide, ne produit point d'affaissements; » il se résume en un refoulement général du revêtement de la terre » par deux séries de forces symétriquement opposées, partout ho- » rizontales, qui en déterminent le raccourcissement dans le sens du » méridien, au moyen d'ondulations alignées, parallèles entre elles et » au mouvement de la terre. Ces ondulations et ploiements, qui sont » l'origine de nos montagnes, croissent en intensité des pôles à » l'équateur, et déterminent, à l'équateur même, les chaînes les plus » considérables, lesquelles suivent ainsi l'alignement d'un des grands » cercles de la sphère terrestre, et doivent marquer sur la surface de » la terre la trace de ses équateurs successifs. »

L'application de ce principe permet à M. de Boucheporn de retrouver, sur le globe, toutes les positions qu'a occupées l'équateur dans ses différentes phases; non seulement il croit avoir reconnu un nombre limité de grands cercles montagneux, égal à celui des for-

Digitized by Google

mations géologiques, mais encore identifié leurs directions avec les directions caractéristiques des soulèvements de chaque terrain dans l'Europe occidentale.

Quatrième principe. « Lorsque l'angle, formé par deux équateurs » consécutifs, ne dépasse pas certaines limites, les chaînes princi- » pales de montagnes, sur le plus récent, doivent se concentrer à » sa partie intermédiaire entre leurs points de rencontre, et corres- » pondre ainsi approximativement aux deux extrémités d'un même » diamètre, situé dans le plan des axes. Au-dessus des valeurs » moyennes, plus l'angle croît, plus les chaînes doivent occuper » d'étendue, et enfin lorsque les deux cercles sont perpendiculaires, » des ridements très prononcés doivent avoir lieu à leur point de » rencontre même. »

Comme corollaire de ce qui précède, on peut voir qu'il y a un certain rapport entre l'accroissement de vitesse de rotation et l'amplitude ou la disposition des chaînes de montagnes ; rapport qui d'ailleurs est inverse. Peut-être un jour ne sera-t-il pas impossible, si l'on parvient à mesurer exactement l'amplitude du ridement, dans les montagnes de chaque époque, d'avoir, connaissant l'inclinaison des axes, la mesure précise du raccourcissement du méridien, et, par suite, celle du changement survenu dans la vitesse de rotation à chaque cataclysme. En étendant ces considérations aux failles, l'auteur démontre, par un procédé d'abord géométrique, puis analytique, que les changements de rotation du globe en expliquent parfaitement toutes les circonstances. L'application des mêmes données à la formation des vallées le conduit au principe suivant.

Cinquième principe. « Le résultat caractéristique des failles en » géologie, c'est-à-dire la différence de niveau qui les accompagne » constamment, est dû à l'expansion instantanée des grandes frac- » tures parallèles à l'équateur, par suite du changement de la cour- » bure dans le méridien et avant le refoulement de celui-ci par la » pression venue des pôles : de cette expansion résulte la chute d'un » massif en surplomb, qui donne lieu, d'une part à un grand abais- » sement de niveau dans la faille principale, et de l'autre à la forma- » tion d'une série de fractures secondaires à niveaux échelonnés en » sens inverse. Une des principales conséquences de ces mouvements » est la production des vallées de fractures, et en général de toutes » les dépressions du sol assujetties à un alignement exact. »

Les conséquences de l'hypothèse du changement de rotation, embrassant dans leur généralité tous les grands résultats de la géologie,

Digitized by Google

font voir que les conditions universelles de parallélisme, observées dans toutes les modifications de la surface du globe, ressortent avec rigueur des lois géométriques, et que ces résultats dynamiques se divisent en deux classes de modifications, les fractures planes et les ridements correspondant aux failles et aux montagnes. Ce double mouvement est causé par l'action simultanée des deux forces qui régissent l'équilibre des corps planétaires, la force centrifuge qui agit par expansion et rupture, la force centripète, par refoulement et réaction. Enfin les principales chaînes de montagnes sont disposées sur le contour de divers grands cercles de la sphère, comme on l'avait déjà soupçonné, et, de plus, on peut se rendre compte de la distribution de ces mêmes chaînes sur des points précis du contour de ces cercles.

L'effet du choc et le déplacement de l'axe de rotation conduit encore à ce dernier principe.

Sixième principe. « Relativement à l'eau des mers, l'effet d'un » changement de rotation sera aussi de modifier sa courbure superficielle, qui ne saurait être parallèle à celle de la surface fluide » intérieure. Elle s'en éloignera d'autant plus que la vitesse de rota- » tion sera plus grande. De là, doit résulter, en principe, une fluc- » tuation dans le niveau relatif des mers, à chacun de ces cataclysmes : » premièrement, selon la position de l'équateur; en second lieu, » selon les modifications de la vitesse. Les traces de ces fluctuations » se retrouvent en effet en géologie. »

M. de Boucheporn fait voir plus loin quelles seraient les conditions climatériques, par suite des diverses positions que prendrait l'équateur terrestre, ainsi que leur influence sur les corps organisés soumis à de pareilles modifications; puis il établit que la période houillère, par exemple, si remarquable par l'uniformité de sa végétation, sur les divers points du globe, coïncide avec une époque pendant laquelle l'équateur terrestre était presque perpendiculaire au plan de l'écliptique, disposition la plus favorable pour produire un pareil résultat. Alors, en effet, se trouvait réalisée la plus grande uniformité possible dans les températures moyennes sur la terre.

Dans le chapitre VIII, il examine la probabilité mathématique que le globe ait été rencontré par une ou plusieurs comètes; il rappelle aussi les idées de Whiston et d'Halley à ce sujet, et surtout ce qu'il a avancé, en commençant, de l'immense durée du temps que l'on doit donner à la formation des divers terrains. Il montre également que les calculs des astronomes sur la non-probabilité des chocs d'une

Digitized by Google

comète n'embrassent qu'un petit nombre de siècles. « Mais, dit M. de » Boucheporn, quant à ces évènements, dont l'intervalle ne se » compte que par milliers de siècles, pour eux l'instant fini dispa- » raît, la durée de l'homme, de ses monuments, de ses empires, » s'anéantit et s'efface.....

» Mais si, négligeant ces chétives durées que le souvenir de » l'homme peut atteindre, nous embrassons de nos regards l'im- » mense étendue des âges dont les dépôts et les ossuaires géologiques » nous ont conservé la trace, nous comprendrons alors que la pro- » portion des faits y puisse changer comme y change l'unité de me- » sure dans le calcul des temps. Nos évènements les moins probables » deviennent les faits réguliers de cette vaste histoire; ils forment » les combinaisons ordinaires dans l'échelle de numération conve- » nable à ces durées, dans cette vie des mondes dont nos siècles ne » forment pas un des jours. »

Après avoir posé les données du problème, l'auteur s'attache à démontrer que l'on peut admettre dix passages par an de comètes à travers le plan de l'écliptique, ce qui ne ferait en réalité que 6 ou 7, un certain nombre d'entre elles coupant plusieurs fois le plan de l'orbite. Il y aurait donc certitude d'un choc dans un espace d'environ trois millions d'années, c'est-à-dire que cet événement rentrerait dans les limites qu'il assigne moyennement aux diverses périodes géologiques. D'après le calcul des probabilités, un choc a dû venir se placer dans chacun des intervalles de durée que l'on peut assigner aux divers âges de la terre.

Telle nous paraît être, en résumé, la théorie proposée par M. de Boucheporn dans son livre, si remarquable à divers titres. Nous avons essayé, dans cette courte analyse, de faire comprendre l'originalité de plusieurs des vues de l'auteur et la manière dont il avait envisagé et traité ce vaste sujet; mais il nous a été impossible d'indiquer la richesse des détails qu'il a groupés d'une manière si heureuse autour de son hypothèse principale, et les passages que nous avons rapportés textuellement donneront difficilement une idée de l'élégance et du prestige de la forme dont il a revêtu son brillant édifice. Nous croyons cependant devoir présenter ici quelques observations, beaucoup moins dans un esprit de critique, que dans l'espoir de provoquer de la part de l'auteur de nouvelles recherches sur un sujet qu'il a déjà si habilement traité, et qui ne pourront être que très profitables à la science.

D'abord, l'assertion que tous les savants qui se sont occupés de la

Digitized by Google

question du déplacement des pôles, ont considéré implicitement la terre comme une masse homogène dont toutes les parties sont solidaires, n'est pas complétement exacte; car nous avons fait voir (*antè* p. 30) que M. Hopkins, dans son second mémoire (1840), et dans le troisième (1842), après avoir successivement considéré la terre comme composée, soit d'un noyau solide séparé de l'enveloppe extérieure solide par une zone fluide, soit d'un noyau fluide entouré seulement d'une écorce solide, soit enfin solide de la surface jusqu'au centre, a insisté d'une manière toute particulière sur la démonstration de la permanence de l'axe terrestre et sur la nécessité d'écarter, comme essentiellement fausse, toute hypothèse basée sur son changement.

M. de Boucheporn établit ensuite la plupart de ses conclusions, d'après les systèmes de fracture produits à chaque choc, par les forces d'expansion et de refoulement qui se manifestèrent dans les plans méridiens; mais il semble qu'il eût fallu démontrer d'abord la nécessité de ces fractures comme conséquence des chocs, et pour cela déterminer, 1° quel a dû être le minimum d'inclinaison du nouvel axe par rapport à l'ancien, pour occasionner un effet sensible à la surface par le refoulement du liquide interne; 2° quelle est la limite minimum d'épaisseur de la croûte, à laquelle a dû cesser au dehors la manifestation de la pression du liquide interne, par suite du déplacement de l'axe; 3° si les effets ont été proportionnels aux temps, ou bien, au plus ou moins d'ancienneté de leur manifestation; 4° si, d'une part, la grandeur des effets a dépendu de l'angle que formait le nouvel axe avec l'ancien, et du plus ou moins d'épaisseur de la croûte terrestre à un moment donné, et si, de l'autre, des conditions très diverses, telles que les dimensions du corps choquant, sa vitesse, sa direction relativement à l'axe de rotation et au mouvement de translation du corps choqué, n'ont pas fait varier les résultats, et cela dans quels rapports; 5° enfin, si la résistance opposée par la croûte solide n'a pas été proportionnelle aux temps; car les chocs qui ont eu lieu aux époques anciennes, alors que l'écorce terrestre était très mince, ont dû occasionner des effets très différents de ceux qui se sont produits lorsqu'elle était plus épaisse. Dans le premier cas, la surface du globe a dû présenter en quelque sorte l'image d'une mer sans bornes, couverte de glaçons qui se seront réunis et consolidés par suite du refroidissement continu, mais il n'aura pas dû rester de relief montagneux sensible pour marquer le nouvel équateur, tandis que ce résultat aura pu avoir lieu à la suite de chocs subséquents, puis aura dimi-

Digitized by Google

nué, à mesure que l'écorce augmentait d'épaisseur, et enfin aura cessé ou devra cesser tout à fait lorsque la résistance de cette même écorce aura fait ou fera équilibre à la pression exercée par le refoulement du liquide interne, lors du déplacement de l'axe. Ce sont ces divers points de vue relatifs aux effets des chocs qu'il eût été peut-être utile d'analyser d'une manière plus détaillée.

Considérons maintenant ce que peut être le choc lui-même entre deux corps, dont l'un, le corps choqué, est supposé une coque plus ou moins solide et plus ou moins épaisse suivant le temps, enveloppant un noyau fluide, le tout ayant une densité moyenne de 5,67; et l'autre, le corps choquant, une substance gazeuse, tellement rare, qu'elle ne fait pas dévier de la direction rectiligne le rayon lumineux d'une étoile placée derrière le centre même du noyau ; dont la densité est inappréciable, et dont le volume n'est moyennement que $\frac{1}{100000}$ de celui de la terre ou du corps choqué. Or, de quelque vitesse qu'on suppose animée cette substance gazeuse, est-il bien rationnel d'appliquer à cette rencontre la formule qu'emploie l'auteur? L'effet d'une pareille collision peut-il bien être soumis à l'analyse, et si la décomposition des forces peut être appréciée, n'est-elle pas beaucoup plus compliquée qu'il ne la suppose? D'un autre côté, est-il bien certain qu'un choc, susceptible de déplacer l'axe de rotation, même d'une très petite quantité, n'aurait pas été capable, surtout à une certaine époque, de briser la coque extérieure en mille morceaux, et de disperser dans l'espace le fluide intérieur? Comment concevoir que, sur quatorze chocs qui auraient eu la puissance de déplacer l'axe, pas un seul n'eût amené ce résultat ?

Chacun des chocs, en déplaçant l'axe de rotation, a produit aussi un changement dans la forme du sphéroïde ; or, par quel merveilleux hasard la forme statique actuelle, après ces quatorze révolutions, se trouverait-elle être exactement celle que devait avoir la terre, lors de son premier refroidissement? ou, ce qui revient au même, comment le dernier choc, qui l'a placée comme nous la voyons, et alors que la croûte avait à très peu près l'épaisseur qu'elle a aujourd'hui, aurait-il pu produire une dépression polaire précisément égale à celle qu'avait la terre encore à l'état fluide? Ce résultat, qui se concevrait peut-être pour les premiers moments de la solidification de l'enveloppe externe, ne se conçoit plus à l'époque du dernier choc invoqué par l'auteur.

Disons, en terminant, quelques mots de la probabilité du choc lui-même, sans nous jeter dans les calculs de l'infini, car la géologie

Digitized by Google

de nos jours ne les admet plus que comme des jeux de l'imagination. Un seul cas s'est encore présenté d'une comète coupant le plan de l'écliptique très près de l'orbite de la terre ; c'est celui de la comète de Biéla , petit astre à courte période, sans queue, sans apparence de noyau solide, et qui décrit, en six ans trois quarts, une ellipse peu excentrique. On évalue, à la vérité, à 600 ou 700 le nombre des comètes constatées par des documents plus ou moins authentiques , mais il n'y en a guère que 150 dont les orbites aient été calculées. Quant à leur influence perturbatrice, on sait qu'elle est très faible et en rapport avec leur petit volume et leur densité plus faible encore. Ainsi, la comète qui en 1767 et 1770 traversa le système des satellites de Jupiter, n'occasionna pas la moindre perturbation dans les mouvements bien connus de ces petits astres.

Nous craignons donc que l'auteur des *Études sur l'histoire de la terre*, pour le mérite duquel personne d'ailleurs ne professe une estime plus sincère que nous, ne se soit exagéré les effets mécaniques de la rencontre de notre globe avec une comète, ou ne les ait pas toujours complétement appréciés. Il y aurait en outre, dans la périodicité même de ces phénomènes et dans la similitude de leurs résultats, une sorte de fatalité dont nous ne voyons pas d'exemples dans les mouvements des corps célestes, et il nous paraît encore plus simple et plus naturel de rechercher, dans la constitution même de notre planète, l'origine des causes qui en ont modifié la surface.

Appendice bibliographique.

.... — *Journal de l'Arche de Noë*. Mag. de Frazer, mars 1834. Paraît être en contradiction sur plusieurs points avec ce que la tradition rapporte de la forme de l'Arche (voy. *Edinb. new phil. journ.*, n° 20, p. 310. 1831).

J.-C. WAGNER. — *Die sonne kinder*, etc. Les enfants du soleil ; hypothèse sur l'origine des hommes, pour les amis impartiaux de la Bible et de l'histoire naturelle. In-8. Potsdam, 1835. — Suivant l'auteur, le soleil serait la source génératrice de la terre comme des plantes et des animaux qui vivent à sa surface.

BERN. COTTA. — *Geologisches glaubens bekenntniss*. Croyances géologiques en 1835. — Freyberg, 1835 (*Neu. Jahrb.*, 1837, p. 549.)

ARIST. KAPP. — *La mortalité de la terre* (voyez son Almanach, p. 130. Kempten, 1836. — *Neu. Jahrb.*, 1836, p. 220).

JEAN HOFFMANN. — *Neue mit grunden*, etc. Nouvel exposé de l'origine de la terre et de ses dépôts, in-8. Leipsick, 1837.

Digitized by Google

PAULA DE GRUITHUISEN. — *Kritik der neuesten theorien der Erde*, etc. Critique des plus nouvelles théories de la terre, et victoire de la nature sur les systèmes, in-8. Landshut, 1838.

E.-A. QUITZMANN. — *Die entwickelungs geschichte der Erde*, etc. Le développement de l'histoire de la terre d'après ses différents âges, in-8, 38 p. Munich, 1838.

J. NEPOMUK FUCHS. — *Vues sur la géogénie, qui doivent étayer le neptunisme au moyen de la chimie* (Gaz. d'Augusta, 1837. Nov. app., p. 444. — Traduction. *Edinb. new phil. journ.*, janv. 1839, p. 182-194). — Critique de M. BERZELIUS. (*Neu. Jahrb.* 1840, p. 86. — 1843, p. 817-822).

L'auteur examine la possibilité de produire, par une dissolution chimique, les composés qui constituent les diverses roches. Il les divise en trois séries : siliceuse, calcaire et charbonneuse.

— *Uber die theorien*, etc. Sur les théories de la terre, l'amorphisme des corps compactes et l'influence réciproque de la chimie et de la minéralogie. — Réimpression augmentée, de l'ouvrage précédent et publiée par les amis de l'auteur. In-8, 88 p. Munich, 1844.

G. JAEGER. — *Sur l'influence de la rotation de la terre, sur la formation et les changements de sa surface* (en allemand). (*Neu. Jahrb.*, 1839, p. 16-25.)

P.-N.-C. EGEN. — *Die konstitution*, etc. La constitution de la terre et la formation de sa croûte, in-8, 90 p. Elberfeld, 1840.

G.-C. CARUS. — *Zwölf briefe*, etc. Douze lettres sur la vie de la terre, in-8, 296 p. Stuttgardt, 1841.

C. GEMELLARO. — *Sulla influenza del regno organico*, etc. Sur l'influence du règne organique dans la formation de la croûte du globe (*Atti dell' Accad. Gioen. di Catania*, vol. XVI, p. 21. 1841.

G. HERSCHEL (de Weimar). — *Le refroidissement de la croûte terrestre a-t-il eu lieu également ou inégalement dans divers points, et comment le magnétisme terrestre est-il en rapport avec l'origine et le développement successif du globe ?* (*Neu. Jahrb.* 1841, p. 446-449.)

F.-J. HUGI. — *Grundzuge zu einer allgemeinen*, etc. Éléments d'une considération générale de la nature, partie 1re. La terre considérée comme un être organisé, in-8. Soleure, 1841.

Non seulement l'auteur retrouve dans la masse de la terre les parties principales des corps des animaux et leurs organes, mais encore les fonctions de ces mêmes organes dans les phénomènes actuels, tels que les éruptions volcaniques, les volcans de boue, les émanations gazeuses, les sources thermales, etc.

CH. CLAY. — *Geological sketche*, etc. Esquisse géol. et observations dans la paroisse de Ashton-under-Lyne (Derby), avec un

Digitized by Google

essai pour expliquer l'origine de la terre, d'après une théorie de combinaison. Londres, 1841.

Ch. Kapp. — La formation de la terre et de son intérieur, d'après les faits observés jusqu'ici (en allemand). (*Zitsch f. vergleich Erdk. de Ludde*. Magdebourg, vol. I, p. 1-23. 1842.)

A. Kæmmerer. — Coup d'œil des théories géologiques de Werner et de Hutton (en allemand). *Schrift d. in St-Petersburg gestift, russ. k. Ges. f. d. ges. miner.*, vol. I, p. 253-268. 1842.

F.-L. Rhode. — *Gedrangte ubersicht*, etc. Coup d'œil sur les révolutions du globe et sur les créations animales et végétales anté-adamiques ensevelies dans les couches terrestres, in-8, 39 p. Darmstadt, 1842.

H. Burmeister. — *Geschichte der Schopfung*, etc. Histoire de la création, exposé du développement de la terre et de ses habitants, in-8, 486 p. Leipsick, 1843. — 2e éd., 1845.

A. Wagner. — *Abweisung der von H. prof. H. Burmeister*, etc. Réfutation des propositions avancées par le professeur H. Burmeister, pour la théorie géologique volcanique, et contre le texte de Moïse sur la création, in-8, 48 p. Leipsick, 1844.

G.-F. de Jenssen-Fusch. — *Der urzustand der Erde*, etc. L'état primitif de la terre et l'hypothèse d'un changement dans les pôles, expliqués par la concordance des mythes et des traditions anciennes. Recherches géologiques et historiques sur la catastrophe du déluge. — Traduction du man. danois, par Fred. Klee, in-8. Stuttgard, 1843.

Nous croyons devoir ajouter ici la note bibliographique que nous a donnée M. Boué, sur ce sujet si souvent traité, afin de guider les personnes qui seraient encore tentées de s'en occuper.

Gobet (Observations sur la physique de Rozier, vol. IX, p. 180. 1777). — Cassini de Thury (Hist. de l'Acad. de Paris. 1780 et 1784). — Hoepfner (Mag. f. naturk. Helvet., vol. I. 1786). — Wrede (Ges. naturf. F. zu. Berlin n. Schrift, 1801, vol. III), et son ouvrage sur le pays au S. de la Baltique. 1804. — Bertrand (J. des Mines, an vii, vol. IX, p. 243). — Coupé (J. de Phys. 1805, vol. VI, p. 172 et 381). — De Laplace (*Expos. du syst. du monde*, éd. in-12, vol. II, p. 180. Ed. in-4, p. 277). — Olbers (Monathlich corresp. de Zach. 1808, vol. XXII). — Klugel (Anfangsgrunde de astronomie. Berlin, 1819). — Sandal. *Cosmogoniæ antiquitatis primæ linæ*. Hafniæ, 1819. — Kloeden. *Die Gestalt u. Urgeschichte der Erde*, in-8. Berlin. 1823, avec carte. — Autre éd. de 1829. — Hallmann (Herta, 1826, vol. V, c. 3. G. geog., p. 223). — Byerley (Mag. of nat. hist., vol. IV, p. 308. 1831). — Richard Philipps (Essai, 1832).

Adhemar. *Les révolutions de la mer*, in-8. Paris, 1842.

Bruchhausen. *Die periodische wieder Kehrende Eiszeiten*, in-8. Trèves, 1845.

J. Noeggerath. — *Die Entstehung der Erde*. La formation du globe, in-8, 29 p. Bonn, 1843.

Al.-F.-P. Nowak — *Lehre von tellurischen dampfe*. La doctrine des vapeurs telluriques, et sur la circulation de l'eau de notre terre, un pas en avant dans la connaissance de notre planète, in-8, 228 p., 1 pl. Prague, 1843.

Nepomuk Fuchs. — *Réponse aux critiques de Berzélius, à sa théorie de la terre* (*Neu. Jahrb.* 1844, p. 723-724 (en allemand).

A. Wagner. — *Naturgeschichte der Urwelt*. Histoire naturelle du monde primitif. Leipsick, 1844.

H. Hager.—*Wetter u. Witterung*, etc. Le temps et la météorologie, ses causes, ses caractères et ses pronostics, avec un appendice sur le sort de la terre, in-8, 88 p., 4 pl. Glogau, 1845.

A. Sonnenberg. — *Tellus*, etc. La terre ou les principaux faits et théories de l'histoire de la création de la terre, in-8, 465 p., 2 pl. Brême, 1845.

T.-J.-M. Forster. — *Essai sur l'influence des comètes sur les phénomènes de la terre*, in-8. Bruges, 1843.

C. Pezza. — *Saggio*, etc. Essai sur une nouvelle théorie de la terre, in-12. Turin.

H. Hennessy. — *Some researches*, etc. Recherches sur les rapports entre la rotation de la terre et les changements géologiques de sa surface (*London, Edinb. and Dublin, philos. Magaz.*, 3e sér., vol. XXVII, p. 376. 1845).

Marcel de Serres. — *On the physical facts*, etc. Sur les faits physiques contenus dans la Bible, comparés aux découvertes des sciences modernes (*Edinb. new phil. journ.*, vol. XXXVIII, p. 239. 1845).

A. Wagner. — *Geschichte der Urwelt*, etc. Histoire du monde primitif, en ayant égard aux races humaines et à la Genèse de Moïse, in-8. 1845.

G. Mackensie.—*On the cause wich has produced the present form*, etc. Sur la cause qui a produit la forme et les conditions actuelles de la surface de la terre (*Edinb. new phil. journ.*, vol. XXXVIII, p. 369. 1845).

Digitized by Google

DEUXIÈME PARTIE.

PHYSIQUE DU GLOBE.

CHAPITRE PREMIER.

§ 1. Mesure de la terre.

La mesure exacte des dimensions de la terre est encore le sujet de nombreux travaux, et quoiqu'elle soit arrivée à un certain degré de précision, les irrégularités de la surface terrestre, sans modifier très sensiblement le résultat général, font cependant que les opérations partielles offrent quelques discordances. Il s'écoulera donc probablement un laps de temps assez long avant que l'on connaisse la valeur réelle, sinon de toutes les irrégularités qui éloignent le globe du sphéroïde normal de révolution, du moins des plus importantes d'entre elles.

M. Jefferson Cram (1) a trouvé, pour l'aplatissement moyen du pôle $\frac{1}{318}$, et pour le rayon équatorial exprimé en milles anglais, 3,961,6667 (6,375,549^{m},63). De son côté, M. Bowditch avait trouvé d'abord $\frac{1}{312}$, puis $\frac{1}{310}$ par une méthode de calcul qui lui est propre. Quarante-quatre observations du pendule à secondes l'avaient conduit à la fraction $\frac{1}{297}$; mais par l'application d'une méthode due à M. Boscovich, il a obtenu $\frac{1}{301}$. M. Cram pense qu'il n'y a pas assez d'observations des inégalités lunaires, pour admettre d'une manière absolue la quantité $\frac{1}{305.05}$, adoptée par de Laplace; aussi M. Bowditch, le traducteur de la *Mécanique céleste*, regarde-t-il la fraction $\frac{1}{301}$ comme s'approchant le plus de la vérité. Le rayon équatorial serait alors de 3,963 milles (6,377,695^{m},53), et le rayon polaire de 3,950 milles (6,356,774^{m},50). Avec ces données, M. Cram a cal-

(1) *On the lenght of a degree*, etc., Sur la longueur d'un degré du méridien terrestre (*Amer. Journ.*, vol. XXXI, p. 222. 1837).

Digitized by Google

culé une table où se trouve, pour chaque degré de latitude, la longueur du degré correspondant. On y voit, par exemple, que pour le 49° de latitude, qui passe à 18 kilomètres au N. de Paris, sa longueur serait de 69,098250 milles (113,193 mètres), et le rayon de 49° serait de 3,955 $\frac{1}{543782}$ milles (6,365,633 mètres).

Puissant, dans la *Nouvelle description géométrique de la France* (1), après avoir rappelé que la commission des poids et mesures, instituée par le gouvernement, avait trouvé pour le mètre légal 443^{li},296, l'aplatissement de la terre supposé $\frac{1}{334.29}$, et que Delambre, par suite de cette rectification, avait ramené cette fraction à $\frac{1}{308.64}$, trouve que celle-ci doit être élevée à $\frac{1}{309.67}$. Les inégalités lunaires conduiraient à la fraction $\frac{1}{306}$. Pour la projection de la nouvelle carte de France, on a adopté l'aplatissement $\frac{1}{308.64}$. Puissant croit que la moyenne valeur des arcs de méridien, mesurés à différentes latitudes, donnerait à très peu près $\frac{1}{305}$, c'est-à-dire ce que de Laplace avait déjà trouvé par les inégalités lunaires ; et il a fait observer que la portion de l'arc du méridien, comprise entre Montjouy et Formentara, était affectée d'une erreur assez considérable (69 toises ou 134^m,48). Les calculs, repris par une commission nommée à cet effet, ont permis de reconnaître que la mesure de l'arc, obtenue en 1808, était en effet trop faible de 70 toises (136^m,43) (2).

M. Bessel (3), qui a tenu compte des observations précédentes, est arrivé, d'après dix mesures de degré, à avoir pour le rayon équatorial 6,377,398^m,1 ; pour le rayon polaire 6,356,079^m,9, et $\frac{1}{299.15}$ pour l'aplatissement.

Les observations du pendule, appliquées à la recherche de la forme du globe, ne paraissent pas devoir conduire à des résultats aussi généralement précis que les méthodes géodésiques et astronomiques, à cause des influences perturbatrices qui existent à la surface, ou près de la surface de la terre. Cependant plusieurs personnes se sont occupées récemment de cette question de la physique du globe, comme nous allons le voir en parlant des irrégularités de sa surface (4).

(1) Vol. II, p. 602. Paris, 1840.
(2) *Comp. rend.*, vol. XII, p. 1176. 1841.
(3) *Nouv. astron.*, de Schumacher, n° 438, p. 116. 1841.
(4) M. Davout a adressé à l'Académie des sciences un mémoire que nous ne connaissons pas, intitulé *Essai mathématique sur la*

Digitized by Google

§ 2. Irrégularités de la surface du globe.

M. de Humboldt a fait connaître (1) que, d'après de nombreuses observations barométriques, il devait exister une dépression du niveau des mers dans la zone équatoriale, comme on en connaissait une dans la zone polaire. Le maximum de cette dépression correspondrait à l'équateur même, le maximum de bombement au 33° de latitude. Le maximum de dépression boréale se trouverait vers le 64°, et le bombement de la surface des mers recommencerait jusqu'au 75° 1/2 de latitude N., où s'arrêtent les observations, d'après la table de M. Schow.

M. Rozet (2), dans un travail fort important publié en 1844, après avoir exposé les résultats qu'avait déduits Puissant des travaux géodésiques relatifs à la nouvelle carte de France, mentionne ceux qui ont été obtenus dans d'autres parties de l'Europe, soit par la même méthode, soit par les observations du pendule et du baromètre. A l'égard de ces dernières, « il résulte, dit M. Rozet, de » celles qui ont été faites ou réunies par MM. Schow (3) et Herman (4) sur les mers et les continents, que les moyennes barométriques ramenées à la surface des eaux tranquilles sont » d'autant plus fortes, que l'on est plus éloigné des côtes pour la » mer, et pour les continents des endroits où le sol présente des aspérités. D'après cela, il est probable que les inégalités de structure de notre planète exercent une action marquée sur la hauteur » du baromètre en chaque lieu. »

Il recherche ensuite la cause des variations de la direction de la verticale; pour cela il s'occupe de l'influence que peut exercer sur

---

forme de la surface du globe (*Comp. rend.*, vol. XXI, p. 435. 1845). — Voyez aussi F. Artur, *Thèse sur la loi relative à la densité des couches intérieures de la terre et sur son aplatissement*, in-4. Paris, 1834. — Francœur, *Traité de la figure de la terre et de ses parties*, in-8, 2e éd. Paris, 1840.

(1) *Comp. rend.*, vol. II, p. 570. 1836.

(2) *Mémoire sur quelques unes des irrégularités que présente la structure du globe terrestre* (*Mém. de la Soc. géol.*, 2e sér., vol. I, p. 1. 1844. — *Bull.*, vol. XII, p. 176. 1841, *id.*, vol. XIII, p. 175. — *Bull. de la Soc. philomatique*, 3 avril 1841. — 12 fév. 1842, 12 mars, *id.*, — *L'Institut*, nos correspondants à ces dates.

(3) *Ann. de chim. et de phys.*, vol. LIII, p. 113.

(4) *Comp. rend.*, vol. XIV, p. 214.

Digitized by Google

cette direction la partie extérieure des chaînes de montagnes, puis il applique la formule obtenue pour l'influence sur le pied de la verticale d'un cube donné, de basalte par exemple, à une chaîne comme celle des Alpes, et fait voir (p. 24), ainsi que l'avaient déjà soupçonné MM. Plana, Carlini, Puissant et Élie de Beaumont, que les déviations de la verticale ne peuvent pas être uniquement attribuées à la partie extérieure des montagnes, mais qu'elles dépendent nécessairement de la structure intérieure du globe ; leur marche exige en outre que dans les bombements la densité de la matière ait considérablement augmenté et qu'elle ait au contraire diminué dans les dépressions.

M. Rozet avait déjà démontré que, dans les régions montagneuses, la surface avait dû être écartée du centre du globe, et que pour que le fil à plomb se trouvât plus fortement attiré vers les lignes de dislocation qui se sont produites dans cette action, il fallait admettre aussi que la masse solide y était devenue plus considérable qu'auparavant. Ayant fait remarquer, en outre, que la partie intérieure des montagnes est insuffisante pour rendre compte du phénomène, on doit penser qu'au-dessous la densité est plus considérable qu'ailleurs. La densité moyenne du globe, comparée à celle des roches connues, exige également que sous les chaînes il se trouve des matières soulevées du centre vers la surface ; aussi le centre de ces chaînes présente-t-il des roches d'origine ignée dont les densités sont plus fortes que celles des couches de sédiment qu'elles ont traversées, tandis que dans les intervalles des chaînes, où la convergence des verticales est diminuée, il a fallu par la même raison que la matière s'abaissât de la surface vers le centre. « La » production de ce double effet exige nécessairement que l'intérieur du globe ait été à l'état fluide ; ainsi donc, par le seul moyen » des observations géodésiques et astronomiques, on peut arriver » à démontrer la fluidité intérieure de la terre, aux différentes époques de formation de chaînes de montagnes. »

Les bombements de la surface, sous lesquels la matière interne s'est accumulée, comme les dépressions qui les séparent ou les déformations de la surface de niveau général, sont d'ailleurs très faibles. Les tableaux dressés par l'auteur font voir qu'en France, la plus grande partie des ménisques de déformation ne dépasse pas $\frac{1}{1000000}$ du rayon terrestre, et qu'en général ces déformations n'en atteignent pas la $\frac{1}{00000000}$ partie. On conçoit en outre (p. 28) que la surface des mers doit présenter des irrégularités comme celle des

continents, puisque l'élément de cette surface en chaque point est un plan perpendiculaire à la verticale. Il en est absolument de même des couches de niveau de l'atmosphère, jusqu'à la hauteur où les inégalités de la structure du globe peuvent exercer leur influence.

Ne pouvant suivre ici M. Rozet dans les détails de cette partie intéressante de ses recherches, nous nous bornerons à conclure avec loi, relativement à la marche du pendule et à celle du baromètre (p. 39) : 1° que les anomalies que présente la première à la surface des eaux tranquilles sont presque uniquement dues à l'influence des masses intérieures ; 2° que, quant à celles de la seconde, une partie seulement de l'effet observé, mais une partie notable, doit être attribuée à cette même influence.

Dans la dernière partie de son mémoire, M. Rozet applique les observations précédentes à l'explication de certains phénomènes géologiques ; c'est ainsi que la surface de notre planète offre une série d'élévations et de dépressions qui seraient en rapport avec les irrégularités de la structure intérieure. Les calculs de Puissant ayant démontré qu'à l'E. du méridien de Paris, il y avait un bombement très considérable fort irrégulier, tandis qu'il existait à l'O. une grande dépression s'étendant jusque dans les îles Britanniques, l'auteur fait remarquer que c'est précisément de ce côté que se trouvent le bassin de l'Atlantique et les points les plus bas du sol de la France. A l'E., au contraire, il y a deux séries de hautes chaînes. Les observations du pendule à secondes sont à cet égard d'accord avec celles du baromètre.

La concordance de ces divers modes d'observation annonce donc une liaison intime entre la cause, quelle que soit d'ailleurs sa nature, qui a donné naissance aux chaînes de montagnes et celle qui a produit, soit les bombements dans lesquels les rayons des parallèles à l'équateur se trouvent un peu plus grands qu'ils ne devraient l'être pour le sphéroïde donné par les inégalités lunaires, soit les dépressions dans lesquelles les rayons des parallèles ont été au contraire diminués.

Il est probable que l'action à laquelle est due la position actuelle des dépôts sédimentaires émergés, disloqués ou non, est la même que celle qui a déformé la surface du globe ; et les déformations de la masse solide donnent une explication simple et naturelle des déplacements de la masse liquide. On conçoit, en outre, que la masse des eaux, bien qu'elle occupe $\frac{75}{100}$ de la surface de la terre, n'étant

Digitized by Google

que $\frac{1}{10000}$ de la masse solide, il a pu correspondre à des soulèvements tels que ceux qui ont élevé les Alpes, les Cordillières et les grandes chaînes de l'Asie centrale, des abaissements assez considérables pour que des portions de terre déprimées soient restées au-dessus des eaux, comme dans la partie occidentale de la France et dans celle de l'Angleterre qui lui est opposée.

Les bombements de la surface du globe rendraient bien compte de la position sensiblement horizontale de la plupart des couches tertiaires ou plus récentes, actuellement émergées à diverses hauteurs, et cela, quelle que soit l'hypothèse que l'on adopte sur la cause première des déformations. Ces forces qui ont produit les inégalités de la surface n'ont point d'ailleurs cessé d'agir, et les phénomènes volcaniques, tant anciens que modernes, de même que les autres modifications des forces actives internes de notre planète, ne sont que des cas particuliers de la déformation du sphéroïde.

On a vu que les bombements excédaient à peine la millionième partie du rayon terrestre, et l'on conçoit que les couches de sédiment affectées par cette cause doivent rester pour nous sensiblement horizontales; car il ne faut pas perdre de vue que les chaînes de montagnes ne sont que les parties culminantes de ces bombements, où la croûte terrestre s'étant crevassée, les débris ont été fortement inclinés, et où, lorsque les crevasses se sont étendues à toute l'épaisseur de la croûte, des matières fluides provenant de l'intérieur se sont épanchées à travers les couches sédimentaires. Telle serait l'origine des roches ignées que l'on observe dans l'intérieur de la plupart des grandes chaînes; et lorsque plusieurs de ces chaînes ou grandes lignes de soulèvement sont venues se croiser dans une même région, le relief de celle-ci a dû augmenter à chaque croisement, et devenir beaucoup plus considérable que celui des pays environnants, ainsi qu'on l'observe dans les massifs du Mont-Blanc, du Mont-Dore, du Cantal, etc.

MM. Hossard et Rozet ont encore fait à l'Académie des sciences d'autres communications : *Sur les causes probables des irrégularités de la surface de niveau du globe terrestre, des anomalies observées dans la direction de la verticale, la marche du pendule et la hauteur de la colonne barométrique ramenée à cette même surface* (1). Ils y ont fait voir qu'il n'était pas nécessaire de recourir à

(1) *Comp. rend.*, vol. XVIII, p. 180 et 292. 1844. — *Bull.*,

une ou plusieurs masses perturbatrices considérables et situées à une grande profondeur, pour expliquer les effets observés sur la direction de la verticale et la marche du pendule. Quant aux conclusions qui terminent le résumé de la première de ces communications, elles ne pourraient être bien comprises et bien appréciées que par la connaissance du mémoire lui-même, qui n'est pas encore publié.

§ 3. Densité de la terre.

La densité de la terre, qui avait déjà été l'objet de recherches très délicates au moyen du fil à plomb, des oscillations d'un pendule ou de la balance de torsion, a été, en 1837, de la part de M. Reich, le sujet de nouvelles expériences. Par le dernier de ces procédés, qu'avait employé Cavendish, le savant professeur de Freyberg a trouvé que la moyenne de 57 observations, faites avec le plus grand soin, donnait à la terre une densité de 5,44 (1).

M. Menabrea (2), dans un travail purement analytique, est arrivé à un chiffre peu différent de ceux que l'on avait obtenus auparavant par des expériences directes.

En 1821, M. Carlini avait cherché à déterminer la densité moyenne de la terre par des observations du pendule faites à l'hospice du Mont-Cenis, et avait trouvé 4,39, valeur sensiblement plus faible que celle donnée par Cavendish (5,48, puis 5,32, et 5,12 par ses commentateurs). Aussi, M. Guilio (3) ayant repris et corrigé les calculs de M. Carlini, a obtenu 4,95.

Enfin, Baily (4), placé dans les conditions les plus favorables et

---

vol XIII, p. 254. 1842.; *id.* vol. XIV, p. 276. 1843. — *Bull. de la Soc. philomatique*, 28 janv., 1843. — *l'Institut*, id.

(1) *Comp. rend.*, vol. V, p. 697. 1837. — *Versuche uber die mittle*, etc. Expériences sur la densité moyenne de la terre par la balance de torsion. — In-8°, 66 p., 2 pl. Freyberg, 1838.

(2) *Calcul de la densité moyenne de la terre* (*Mem. della r. accad. di Torino*, 2e sér., vol. II, p. 305. 1840.)

(3) *Mem. della r. accad. di Torino*, 2e sér., vol. II, p. 379. 1840.

(4) *Expériences sur la densité de la terre.*, Soc. astron. de Londres, 13 mai et 10 juin 1842. — *L'Institut*, 29 sept. 1842. — *Ann. des sc. géol.*, vol. I., p. 819. — *Ann. de chim. et de phys.*, juill. 1842. — On sait que, d'après ses calculs, Playfair avait trouvé pour moyenne 4,71, la plus faible des densités obtenues, sauf celle de M. Carlini qui n'avait pas été admise. M. Baily, en corrigeant celle de Cavendish, était arrivé à 5,44, précisément le chiffre obtenu plus tard par M. Reich.

Digitized by Google

mers, etc. ; la seconde renferme les recherches sur la température des mines et les méthodes d'observation employées ; la troisième comprend les phénomènes volcaniques et les tremblements de terre ; la quatrième enfin traite de l'hypothèse de la chaleur centrale.

Nous ne connaissons l'ouvrage de M. Bischof que par les extraits que nous avons trouvés dans divers recueils scientifiques ; ce que nous en dirons sera donc très incomplet, surtout pour ce qui se rapporte au sujet de ce chapitre. La première et la troisième partie au contraire pourront être examinées plus en détail lorsque nous nous occuperons des eaux thermales, des volcans et de leur théorie.

En recherchant la loi de l'accroissement de température dans les lieux profonds, l'auteur a démontré (1) l'influence qu'exerce sur cette température la configuration de la surface du sol. Il a fait voir, par une construction géométrique, que, dans les plaines et les vallées, l'accroissement est le plus rapide, tandis que sur les montagnes il est plus lent, et cela d'autant plus que leurs pentes sont plus fortes. Les lignes *chthonisothermales* ou les couches d'égale température ne sont parallèles à la surface que dans les plaines et sur des étendues peu considérables. Elles se relèvent sous les montagnes et se dépriment sous les mers, les lacs, les glaciers, en faisant avec l'horizon des angles plus ou moins grands.

M. Bischof regarde comme tout à fait erronées les conclusions déduites des observations faites dans les puits artésiens, parce que ces eaux donnent la température, non des points d'où elles s'élèvent, mais des parties plus basses où elles prennent leur origine ; elles doivent accuser alors, dit-il, un accroissement très rapide et illusoire. A cet égard, nous ne pouvons point partager l'opinion du savant chimiste allemand ; car les eaux artésiennes ne proviennent pas d'un point ou d'une couche plus basse que le fond du trou, puisqu'elles ne s'élèvent qu'en vertu de la loi du niveau ou de la pression hydrostatique. Il est de toute nécessité au contraire qu'elles proviennent d'un point supérieur au fond même du puits ; et si la circulation dans les couches était très rapide, et que l'eau n'eût pas le temps de se mettre complétement en équilibre de température avec les roches les plus basses traversées pour atteindre la partie inférieure du puits, l'erreur serait inverse de celle que suppose

(1) *Ann. der Physik*, n° 6, 1835. — *Bibl. univ. de Genève*, vol. LX, p. 405. — *Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXIV, p. 132-252, 1838.

Digitized by Google

M. Bischof, et la température de cette eau se trouverait au-dessous de celle de la couche la plus profonde.

Le grand nombre de faits rassemblés dans cet ouvrage devra toujours le faire consulter très utilement par toutes les personnes qui s'occupent de la physique du globe (1).

§ 2. Température observée dans les mines.

M. Oldham, dans son *Rapport sur les progrès des observations de température souterraine* (2), a fait connaître que la moyenne de celles qui ont été faites pendant onze mois, à la profondeur de 774 pieds anglais (235m,29) dans les mines de Knot-Matson, dans le comté de Waterford, n'avait indiqué qu'un accroissement de température de moitié de celui qui avait été observé en Angleterre. Ainsi la moyenne du sol à la surface étant 50°,026 F. (10° C.), l'air de la mine s'est trouvé à 57°,176 F. et la température de la roche 57°,369, puis celle du filon 57°,915, ce qui donne un accroissement de 7°,343 pour 774 pieds, ou 1° F. pour 91,82 pieds. Pendant la moitié de la dernière expérience, il y a eu diminution de 0°,674 F. pour la température moyenne de la roche, quoique le nombre des ouvriers se fût accru dans le même temps. Irlande.

Un puits percé à travers le terrain houiller de Newcastle, et qui, avec un diamètre de 12 pieds anglais, descendait à 1,584 pieds (482m,70) de profondeur totale, ou à 1,497 pieds au-dessous de la mer, son orifice étant à 87 pieds d'altitude, a permis à M. Phillips de faire, dans les galeries qui y aboutissent, des observations dans les circonstances les plus favorables. Le résultat a été 1° C. d'accroissement de la température pour 32m,57, la température étant 72°,6 F. (22°,22 C.), et l'augmentation de 25° F. (3). Angleterre.

(1) Voyez aussi : G. Bischof, *Physical*, *chemical*, etc., Recherches physiques, chimiques et géologiques sur la température intérieure du globe, in-8 ; Londres, 1841. — *On the theory*, etc., Sur la théorie de la chaleur centrale (*The mining Journ.*, n° 594). — *Mémoire ou observations touchant la chaleur centrale*, par M. Vallet-d'Artois, in-8 ; Aix, 1843.

(2) *Rep. 14th Meet. brit. assoc. at York*, 1844. — *L'Institut*, 28 nov. 1844 et 6 août 1845. — *L'Écho*, 3 nov. 1844.

(3) *Philos. Magaz.*, déc. 1834, p. 446. — *L'Institut*, 28 janv. 1835.

Digitized by Google

M. R.-W. Fox (1) a donné un tableau des températures de quelques mines du Cornouailles; mais il regarde ces résultats comme établissant que la proportion de l'accroissement de température en s'enfonçant dans le sol est plus considérable dans les mines peu profondes que dans celles qui le sont davantage, et il ajoute qu'il n'y a encore aucun moyen d'arriver à des conclusions satisfaisantes, relativement à la quantité dont la température peut s'accroître à des profondeurs plus grandes que celles qui ont été atteintes. On a fait des observations jusqu'à 290 fathoms (530 mètres) de la surface, ou 237 fathoms (433 mètres) au-dessous de la mer; et à des distances assez rapprochées on a trouvé des accroissements différents pour un même niveau, tels que 1° F. pour 49 pieds 6 pouces anglais ($15^{m},08$), 1° pour 46 pieds, pour 48, et même pour 44 pieds. Dans d'autres mines, de 26 à 262 fathoms, la proportion s'est trouvée de 1° pour 48 pieds. A 262 fathoms du sol, ou 208 au-dessous de la mer, la température de la roche était 82° F. (27°,78 C.), celle de l'air étant 85°,5 F. M. Fox pense que ces anomalies sont dues à des causes intérieures, et peuvent être attribuées à des courants d'eau chaude, qui tendent toujours à s'élever par les fissures des roches à travers les portions plus froides de ce fluide. Les irrégularités observées à un même niveau sur des points différents, souvent peu éloignés, dépendraient du plus ou du moins de facilité que présentent les veines et les roches à la circulation de l'eau.

Le même observateur (2) a constaté de nouveau, dans une autre occasion, que la proportion de l'accroissement n'était pas aussi considérable à de grandes profondeurs qu'à celles qui l'étaient moins, ou, en d'autres termes, que la progression de l'accroissement n'était pas continue et régulière, comme on l'avait d'abord pensé. Ainsi la moyenne température à 100 fathoms ($182^{m},80$) est de 16°,43; et à 200 fathoms ($365^{m},60$) elle est de 27°,03. L'augmentation des 100 premiers fathoms est à celle des 100 seconds :: 16°,43 : 10°,60; d'où il résulte que la température s'accroît moins rapidement à mesure que l'on observe à de plus grandes profondeurs.

---

(1) *Rep. 7th Meet. brit. assoc. at Liverpool*, 1837 (Londres, 1838). p. 133. — *London and Edinb. philos. Magaz.*, vol. XI,, p. 523, 1837.

(2) *Rep. 10th Meet. brit. assoc. at Glasgow.*, 1840 (Londres 1841), p. 309.

Nous extrayons les documents suivants du *Rapport sur la géologie du Cornouailles*, *du Devonshire et du Somerset occidental*, par M. de La Bèche (2). M. Oats a trouvé que les thermomètres placés dans la roche des mines de Tresavean, à 262 fathoms de la surface, ou 208 au-dessous de la mer, avaient marqué 82°,5 F. (28° C.) et 82°,00 (27°,78 C.), l'air de la mine étant à 85°,5 F. M. R.-W. Fox, dont nous venons de parler, estimait l'accroissement, de 1° F. pour 46 pieds anglais, dans les mines de Levant; de 1° pour 49,6 dans celles de Console; de 1° pour 48 dans celle de Tresavean; et de 1° pour 51 dans les mines de Dalcoath, à 1,380 pieds de profondeur totale. M. de La Bèche rappelle à ce sujet le principe que nous avons vu émis par M. G. Bischof (2) pour les lignes chthonisothermales, savoir : que leurs irrégularités suivent celles de la surface. Ainsi, dans les montagnes de Guanaxato, à une profondeur de 1,607 pieds, la température est de 98°,15 F. (36°,70 C.), c'est-à-dire de 15°,75 F. plus élevée que celle de l'air sous l'équateur, au niveau de la mer, et quoique ce point se trouve à 4,616 pieds d'altitude.

Dans les mines de houille des environs de Manchester, M. Hodgkinson (3), après une année d'observations, a obtenu 1° F. d'accroissement pour 27 yards (24^{m},70) de profondeur. A 480 yards (438^{m},72), la température s'est trouvée 69° F. (20°,56 C.), celle du lieu à la surface du sol étant 48° F. (8°,89 C.).

M. W.-J. Henwood (4) a déduit de près de 400 annotations thermométriques, dont le détail est consigné dans ses tableaux, que les lignes isothermales souterraines ne sont pas exactement parallèles à la configuration de la surface du sol, ainsi que l'avait dit M. Bischof. A des profondeurs égales, les températures sont souvent différentes, non seulement dans la même mine, mais encore dans diverses parties des courants d'eau qui s'échappent par la même crevasse. Pour éviter les causes d'erreurs dues à la présence des ouvriers, des lumières ou des courants d'air extérieur, la

---

(1) *Report on the geol. of Cornw., Devon.*, etc. In-8°, p. 373. Londres, 1839.

(2) *Edinb. new phil. Journ.*, janv. 1838, p. 146.

(3) *Rep. 10th Meet. brit. assoc. at Glasgow*, 1840 (Londres, 1841). — *L'Institut* 28 janv. 1841.

(4) *On the temperature*, etc., Sur la température des mines du Cornouailles et du Devonshire (*Transac. r. geol. Soc. of Cornwall*, p. 387. 1843.

Digitized by Google

plupart des annotations thermométriques ont été prises dans les eaux, à leur sortie de la roche.

On savait déjà qu'à profondeur égale la température était plus élevée dans les schistes que dans les granites (1), ce que M. Henwood a confirmé. A la profondeur de 240 fathoms (438^m,72), la température du granite est de 60°,35 F. (15°,80 C.); celle des schistes, à 241 fathoms (440^m,54), est de 89°,4 F. (31°,67 C.). La moyenne de cinq observations faites dans le granite, entre 25 et 240 fathoms, a donné, pour 94 fathoms, 60°,25 F., et pour les schistes, entre 30 et 241 fathoms, la profondeur moyenne de 116 fathoms a donné 68°,89 F. La différence de température entre les deux roches est d'ailleurs plus sensible à de grandes profondeurs qu'à de petites.

Contrairement à ce que l'on avait admis, que la température des roches était plus basse que celle des veines (R. W. Fox, J. D. Forbes, etc.), M. Henwood établit, qu'à toutes les profondeurs, les roches sont plus chaudes que les *lodes*, et, ceux-ci plus chauds que les *cross-veins*. On sait d'ailleurs que les courants d'eau sont plus considérables dans les *cross-veins*, moindres dans les lodes, et très faibles dans le granite et les schistes; et comme ces eaux viennent par infiltration de la surface, on conçoit que par leur température plus basse elles doivent d'autant plus influer sur les roches en contact, qu'elles sont plus abondantes. A profondeur égale, les lodes de minerai d'étain sont plus froids que ceux de cuivre, et ceux dans lesquels se trouvent les deux métaux ont une température intermédiaire.

De la surface à 150 fathoms (274^m,20) l'augmentation de température pour des profondeurs égales paraît être en raison décroissante, comme nous avons vu que M. Fox l'avait reconnu. De plus M. Henwood a signalé cet autre fait non moins remarquable, c'est qu'au-delà de 150 fathoms la progression redeviendrait plus rapide, de telle sorte qu'il y aurait à cette profondeur de 150 fathoms, ou de

---

(1) *Thomson's records of gener. sc.*, vol. IV, p. 198. 1836. — Voyez aussi : *Rep.* 6th *Meet. brit. assoc. at Bristol*, 1836 (Londres, 1837), vol. VI, p. 36. — *Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXIII, p. 341. 1837. — M. J. D. Forbes (*Rep.* 10th *Meet. brit. assoc. at Glasgow*, 1840 (Londres, 1841), p. 435) a fait voir qu'aux environs d'Edimbourg les effets de la température atmosphérique deviennent insensibles dans le trapp, à la profondeur de 55 pieds 5 pouces, dans le sable à 65 pieds 8 pouces, et dans le grès, à 96 pieds 1 pouce.

Digitized by Google

274 mètres, un minimum à partir duquel se manifesterait un accroissement plus rapide, soit en descendant, soit en montant. Le savant observateur anglais a d'ailleurs recueilli un grand nombre d'annotations au-dessous de cette profondeur, et il donne (p. 406) le tableau suivant qui met en évidence l'observation précédente et indique en outre la profondeur relative dont il faut s'abaisser dans les diverses roches et dans les filons pour 1° F. d'élévation dans la température.

Profondeurs.	Granite.	Schistes.	Roches.	Cross-veins.	Lodes.	Lodes d'étain.	Lodes d'étain et de cuivre.	Lodes de cuivre.	Moyennes.
	fath.	fath.	fath.	fath.	fath.	fath.	fath.	fath.	fath.
A 50 fathoms. .	9,3	5,0	5,8	8,2	6,0	8,6	6,5	4,6	6,8
De 50 à 100. . .	9,1	7,1	8,1	6,0	8,3	7,3	6,4	8,5	7,6
100 à 150. . .	8,3	8,3	6,7	11,03	7,8	8,5	10,5	8,0	8,7
150 à 200. . .	2	4,4	3,7	4,9	6,3	4	3,05	4,5	4,8
200 et au-delà.	7,5	6,5	9,5	3,93	5,2	5,1	»	6,6	6,4
Moyenne. . . .	8,5	6,2	6,7	6,8	6,7	7,3	6,6	6,4	6,8

M. Houzeau (1), d'après des observations faites dans la fosse n° 2 de la mine de Flénu, depuis 115 jusqu'à 328 mètres de profondeur, a trouvé que pour une élévation de 1°, il fallait descendre de 33m,25. M. Stass avait trouvé, pour la fosse Sainte-Cécile, 1° par 38 mètres. Belgique.

Des observations ont été faites aussi dans des excavations naturelles. M. Marcel de Serres (2) a constaté que la température des cavernes de Montels, situées au N.-O. de Montpellier, se maintenait constamment entre 21° et 22°,50, à une profondeur de 34 mètres. La température moyenne du lieu étant 17°, on aurait ainsi un excédant de 5°,50, qui paraît tout à fait exceptionnel et que l'auteur attribue à l'influence de la température intérieure, laquelle remonterait par des fissures du terrain. Cette supposition serait confirmée France.

(1) *L'Institut*, 16 avril 1845.
(2) *Des cavernes chaudes des environs de Montpellier.* (*Actes de la Soc. linn. de Bordeaux*, vol. X, p. 78. 1838.)

Digitized by Google

de Monte-Massi n'est qu'au septième rang parmi les profondeurs où le thermomètre a été descendu ; mais en ne le considérant que par rapport au niveau de la mer, la mine de Dalcoath, dans le Cornouailles, est le seul point où l'on soit arrivé plus bas. Sa profondeur totale est de 421 mètres ; le fond se trouve à 311 mètres au-dessous du niveau de l'Atlantique, et la température de l'eau s'y est trouvée de 27°,8.

La température du puits de Monte-Massi dépasse ainsi de 5° la plus haute chaleur souterraine observée jusqu'à présent ; celle de Valanciana, laquelle peut même être influencée par les sources thermales qui s'échappent des trachytes environnants, tandis qu'à Monte-Massi aucune circonstance particulière locale ne paraît agir sur la température de la roche du fond. La température moyenne du sol à la surface étant de 16°, il y aurait un accroissement de 1° pour 13 mètres de profondeur, et une différence de 25° entre les deux extrémités du puits.

M. Pilla a constaté le même accroissement de température dans des galeries de mines ouvertes dans le *gabbro rosso* et dans l'ophiolite, aux environs de Volterra, et il attribue cette élévation extraordinaire à ce que, dans la péninsule italienne, les actions ignées (volcans, salses, *soffioni*, tremblements de terre, etc.) se sont continuées jusqu'à une époque très récente et même jusqu'aujourd'hui, tandis que dans le Cornouailles elles ont cessé depuis longtemps. On peut penser que la croûte terrestre y a moins d'épaisseur que sur d'autres points, ce qui contribuerait ainsi à élever la température souterraine.

Enfin, dans une lettre postérieure (1), M. Pilla a annoncé que le puits de Monte-Massi s'était éboulé après qu'on eut atteint la profondeur de 370 mètres. La dernière observation thermométrique avait indiqué une température de 42°, la plus haute que l'on ait encore obtenue dans l'intérieur de la terre.

Europe orientale. M. Kupffer (2) a donné, en 1834, le résultat de la discussion des observations faites dans diverses parties de l'Europe et dans l'Oural sur l'accroissement de température à l'intérieur, et il est arrivé à trouver pour moyenne 25m,37 de profondeur pour chaque degré Réaumur.

(1) *Compt. rend.*, vol. XX, p. 816. 1845.
(2) *Ann. der physik de Poggendorff*, n° 28. 1834. — *Bibl. univ. de Genève*, vol. LVII, p. 80.

Digitized by Google

M. Everest, dans un mémoire *Sur la température des puits profonds* (1) situés à l'O. de la Jumna (Djemna), a constaté aussi l'accroissement de la température avec la profondeur dans cette partie du globe, et s'est attaché à expliquer les causes qui font varier cette température à des profondeurs égales. Inde.

§ 4. Température observée dans les puits artésiens.

M. Paterson a publié, en 1839, *Les expériences et les observations faites sur la température des eaux artésiennes dans le Middle-Lothian, le Stirlingshire et le Clark Mannanshire* (2). Les sondages exécutés à travers le terrain houiller ont donné de l'eau jaillissante à 242 pieds anglais. Sur onze sondages, la moyenne de l'accroissement de température s'est trouvée de 1° F. ? par 47 pieds 11 pouces, le minimum étant de 42 et le maximum de 60 pieds. Écosse.

Une observation qui nous paraît avoir besoin d'être répétée est celle qui a été faite dans un puits poussé à 55 pieds dans le granite d'Aberdeen (3). La température s'est trouvée être de 12°,8 à cette profondeur, ce qui donnerait 1° pour 14 mètres, la température moyenne étant 8°,8. Dans les mines de Leadhill, au contraire, l'accroissement ne serait que de 1° pour 63 mètres. Il y a sans doute quelque cause d'erreur dans des résultats aussi discordants, la graduation des instruments n'étant pas toujours indiquée, ou la conversion des échelles n'étant pas faite avec exactitude.

M. Walferdin (4), qui s'est occupé avec beaucoup de succès et d'assiduité de ce genre de recherches, et à qui l'on doit des instruments fort ingénieux et d'une extrême précision, a trouvé, à une profondeur de 263 mètres, dans le puits de Saint-André (Eure), foré dans la craie, une température de 17°,95, ce qui donne un accroissement de 1° par 30^{m},95. Il avait également constaté la température de 23°,5 à 400 mètres dans le puits de l'abattoir de Grenelle, à Paris, et plus tard 23°,75, ce qui, en partant de la température constante des caves de l'Observatoire (11°,7), donne 1° d'accroissement pour 30^{m},87. Dans le puits de l'École-militaire, à Paris, à France.

(1) *Journ. asiat. Soc. of Bengal*, vol. IV, 229.
(2) *Experiments and observations*, etc. (*Edinb. new phil. Magaz.*, vol. XXVII, p. 71. 1839).
(3) *Compt. rend.*, vol. III, p. 92. 1836.
(4) *Ibid.*, vol. VI, p. 503. 1838. — *Ann. de chim. et de phys.*, vol. LXIX, p. 35. — *Bull.*, vol. IX, p. 254 et 257.

Digitized by Google

173 mètres, le thermomètre avait indiqué 16°,4, et, en réunissant ces observations faites entre 173 et 400 mètres, M. Walferdin a établi que l'accroissement de température paraissait être régulier dans la craie du bassin de Paris.

Les forages exécutés à Rouen ont donné à M. Girardin (1) un accroissement de 1° par 20^{m},15 de profondeur, la température de l'eau à 74^{m},16 s'étant trouvée de 15°,1, et la température moyenne du lieu étant de 11°,425. Le même observateur, aidé de M. Person (2), avait constaté au fond du puits de l'abattoir de Saint-Sever (faubourg de Rouen) 17°,6 à 183 mètres, ou 1° pour 29^{m},5. Ce peu de concordance dans les résultats obtenus sur des points aussi rapprochés diffère donc beaucoup de ce que M. Walferdin avait conclu pour d'autres parties du bassin crétacé de la Seine. Mais il est probable que pour les deux côtés de la rivière, à Rouen, ces différences ne sont pas étrangères au changement de direction qu'a pu produire sur le cours d'eau souterrain la grande faille que l'on sait exister sur ce point, et dont nous avons essayé de faire voir le rapport avec les résultats hydrauliques de ces mêmes forages (3).

Trois puits forés à Meaux (Seine-et-Marne), et poussés à 50, 60 et 70 mètres, dans les sables et les graviers placés entre les lignites et la craie, ont amené des eaux jaillissantes dont la température s'est trouvée constamment de 14° (4).

Peu de forages ont présenté des circonstances plus favorables que celui du puits de Grenelle : aussi les nombreuses observations faites avec tous les soins possibles par MM. Arago et Walferdin sont-elles venues apporter des documents fort utiles pour la physique du globe. La sonde étant arrivée à 480 mètres, dans une craie bleu verdâtre, M. Walferdin a constaté à cette profondeur une température de 27°,55 (5). Plus tard, à 505 mètres, et dans les argiles du gault, six thermomètres, confectionnés par l'observateur lui-même,

(1) *Premier mémoire sur les puits artésiens forés dans le département de la Seine-Inférieure* (*Précis anal. des trav. de l'Acad. de Rouen*. 1838, p. 93).

(2) *Mesure de la température du fond d'un puits artésien* (*Compt. rend.*, vol. VI, p. 506. 1838).

(3) D'Archiac (*Mém. de la Soc. géol.*, 2ᵉ sér., vol. II, p. 101. 1846).

(4) Le vicomte Héricart de Thury. *Un mot sur les puits artésiens* (*Ann. de l'agricult. française*, janv. 1838).

(5) *Bull.*, vol. X, p. 431. 1839. — *Compt. rend.*, vol. IX, p. 218. 1839. On avait mis par erreur 27°,50.

ont marqué avec un accord remarquable une température moyenne de 26°,43 ; ce qui, en prenant pour point de départ la température moyenne du sol à Paris (10°,6), donnerait 1° d'accroissement pour 31^{m},9, tandis qu'en partant de la température constante des caves de l'Observatoire (11°,7, à 28 mètres de profondeur), on trouve 1° pour 32^{m},3. Si l'on calcule d'après cette dernière donnée, la température à 548 mètres doit être 27°,76 ; or l'eau qui arrive de cette profondeur à la surface du sol indique 27°,6, ce qui s'accorde avec le résultat déjà obtenu à 505 mètres (1).

Dans le puits foré à la maison de poste d'Alfort, près Paris, l'eau jaillissant d'une profondeur de 54 mètres avait une température de 14°, comme celle des forages de Meaux, et provenait des mêmes couches (2).

A Troyes (Aube) le forage parvenu à 142 mètres dans les marnes argileuses du gault, semblables à celles du puits de Grenelle, a permis à M. Walferdin (3) de descendre ses instruments à 125 mètres, où il a constaté une température de 15°,54, ou 1° pour 21 à 22 mètres; proportion bien différente de celle que cet habile observateur avait obtenue sur d'autres points du bassin de la Seine. Ce résultat, joint aux chiffres trouvés par M. Girardin, fait voir combien on est encore loin de posséder la loi d'accroissement de température dans les lieux profonds, même pour un bassin peu étendu dont la constitution géologique est bien connue et assez uniforme.

M. Mulot (4), dans un puits percé à Cangé, près de Tours (Indre-et-Loire), à travers la craie et le grès vert, est arrivé à des marnes qui paraissent appartenir à la formation jurassique, et le thermomètre descendu à 178^{m},90 a marqué 18°,2/10.

MM. de la Rive et Marcet (5), par deux séries d'observations faites dans le puits de Prégny, foré à travers la mollasse tertiaire jusqu'à 682 pieds (221^{m},50) ou 383 au-dessous du niveau du lac de Genève, sans rencontrer d'eau jaillissante, ont trouvé au fond Suisse.

(1) *Bull.*, vol. XII, p. 166. 1841.

(2) *Acad. des sciences*, 10 oct. 1842.

(3) *Bull.*, vol. XI, p. 29. 1840.

(4) *Coupe géologique d'un puits foré au bas du coteau de Cangé.*

(5) *Quelques observations sur la température de la terre, faites à l'occasion du puits artésien de Prégny, près Genève* (*Mém. de la Soc. de phys. et d'hist. nat. de Genève*, vol. VI, p. 503. 1834. — *Bibl. univ. de Genève*, vol. LVI, p. 30).

Digitized by Google

du puits une température de 13°,8 et 13°,6 R. A partir de 100 pieds (32m,48), où la température se maintient à 8°,75 R., l'accroissement s'est trouvé uniforme jusqu'au fond. Il est de 0°,875, ou un peu moins que 1° R. (1°,20 C.) pour 100 pieds. Ces savants ont en outre constaté l'existence de courants électriques plus prononcés au fond du puits qu'à la surface du sol.

Dans son *Analyse du Traité de la chaleur*, par Poisson, M. de la Rive (1) rappelle que, d'après la température obtenue dans quinze forages exécutés aux environs de Lille (Nord), on avait trouvé un accroissement de 1° pour 25m,459, ce qui annoncerait une progression plus rapide qu'à Genève dans le rapport de 4 à 3 (à Genève la proportion étant 1° pour 32m,55). Ce travail étant antérieur aux expériences de MM. Arago et Walferdin, dont nous avons parlé, le savant physicien de Genève s'était basé sur une observation faite dans un puits de Saint-Ouen, près Paris, pour estimer la proportion sous cette dernière ville à 1° par 35m,65, chiffre trop élevé, et dont il a tiré une conclusion inexacte relativement à l'accroissement de température des puits de Lille ; tandis qu'en réalité, l'accroissement s'est trouvé, au-dessous de Genève, sensiblement le même qu'à Paris. De plus, il ne regarde pas comme certain que l'eau puisse donner avec précision la température de la couche située à une profondeur égale à celle du puits, en supposant même qu'elle provînt d'une profondeur semblable. Ce doute serait peut-être justifié par celui qu'a émis M. G. Bischof, seulement l'un et l'autre ne reposeraient pas sur le même motif.

Luxembourg. MM. Ciber et Wurths (2), dans un puits foré à Cessingen, près de Luxembourg, avaient d'abord trouvé un accroissement de température de 1° pour 13m,2, et cette anomalie leur avait fait penser qu'il existait quelque cause d'erreur ; aussi les expériences faites depuis à 337 mètres ne leur ont plus donné qu'un accroissement de 1° pour 25m,5 (3).

M. Rivot (4) a fait connaître les résultats du soundage le plus profond que l'on ait encore exécuté en Europe. Il a été entrepris, pour la recherche du sel, au village de Mondorf, sur la frontière de

(1) *Bibl. univ. de Genève*, vol. LX, p. 279 et 415.
(2) *Bull. de l'Acad. de Bruxelles*, vol. VII, p. 65.
(3) *Compt. rend.*, vol. X, p. 40. 1840.
(4) *Notice sur le forage du puits artésien de Mondorf* (*Ann. des mines*, 4e sér., vol. VIII, p. 75. 1845).

Digitized by Google

France et du Luxembourg. Le 30 septembre 1845, on était arrivé à 700 mètres, après avoir traversé le lias et la plus grande partie du trias. La température à 671 mètres était de 34°, ce qui donne un abaissement de 29^{m},60 pour chaque degré de chaleur.

Dans les schistes argileux, au pied de la colline basaltique de Landskrone, dans la vallée de l'Ahr, 3 milles au N. de Laacher See, un forage a donné une eau jaillissante minérale à la température de 58° F. (14°,44 C.), et accompagnée d'un dégagement considérable de gaz acide carbonique (1). Prusse rhénane.

Les eaux du puits artésien de New-Salswerck qui a traversé le lias et le *keuper* avaient à la profondeur de 622 mètres, ou 540 mètres au-dessous de la mer, une température de 31°,25, ou 3°,5 au-dessus de celle du puits de Grenelle (2). La proportion de 29^{m},2 pour 1° qui en résulte est donc sensiblement plus faible qu'au-dessous de Paris, mais elle est égale à celle du puits de Mondorf qui a traversé les mêmes formations. Westphalie.

Dans un puits artésien foré à Dresde l'eau jaillissant d'une profondeur de 859 pieds était à 16° R. La proportion de la température, suivant M. B. Cotta (3), est de 1° pour 78 pieds, ce qui serait un accroissement un peu plus rapide que celui qu'a trouvé M. Reich par des observations faites dans la roche même. Saxe.

M. Daubrée (4) a fait connaître aussi les observations que M. le comte de Mandelslohe avait dirigées dans le puits foré de Neuffen (5). L'orifice du puits est à 420 mètres d'altitude et sa profondeur est de 385 mètres. La formation jurassique et les marnes du lias avaient encore été seules traversées. Les lectures thermométriques, à douze niveaux différents, à partir de 30 mètres, ont donné pour la température du fond 38°,7. La moyenne de ces observations, qui sont presque toutes concordantes, donne 1° d'accroissement pour 10^{m},5 de profondeur, c'est-à-dire trois fois la proportion ordinaire et elle surpasse même le chiffre que nous venons de Wurtemberg.

---

(1) *Amer. Journ.*, vol. XXXVII, p. 67. 1839. — Voyez aussi l'ouvrage de M. Bischof, cité *anté* p. 63.

(2) Extrait d'une lettre de M. de Humboldt (*Compt. rend.*, vol. XVII, p. 600. 1843).

(3) *Neu. Jahrb.*, 1837, p. 41-42. — *Bibl. univ. de Genève*, vol. VII, p. 49.

(4) *Observations sur la haute température observée dans un puits foré à Neuffen* (*Compt. rend.*, vol. XXI, p. 1335. 1845).

(5) *Neu. Jahrb.*, 1844, p. 440.

Digitized by Google

donner pour le puits de Monte-Massi, où la proportion était de 1° pour 13 mètres. En outre, le fond du puits de Neuffen se trouve encore à 35 mètres au-dessus de la mer. Cette marche rapide de la température est attribuée, par M. Daubrée, aux basaltes du voisinage qui sont plus récents que les calcaires lacustres, et qui, ayant conservé une certaine quantité de leur chaleur première, réagiraient sur les dépôts sédimentaires environnants.

Autriche. Enfin, d'après M. de Wegmann (1), un puits foré à Vienne a été poussé jusqu'à 188 mètres dans les couches tertiaires, et la température de l'eau ramenée de cette profondeur s'est trouvée être de 16°. Ce qui serait à peu près la moyenne des annotations précédentes.

On voit qu'il suffit de jeter un coup d'œil comparatif sur l'ensemble des observations faites, soit dans les galeries de mines, soit dans les puits de mines, soit dans les puits artésiens, et en faisant abstraction de quelques anomalies extrêmes qui peuvent être attribuées à des influences locales, pour reconnaître que l'on est encore loin de pouvoir établir la moyenne de l'accroissement de température dans les lieux profonds. On remarquera, en outre, qu'aucun observateur sur le continent ne paraît avoir constaté cette circonstance si particulière qu'ont révélée les expériences de MM. Fox et Henwood dans les mines du Cornouailles, et celles de M. W. B. Rogers dans les houillères de la Virginie, savoir, que la proportion de l'accroissement de température diminuait à mesure qu'on s'enfonçait. De plus, M. Henwood a admis, après plus de quatre cents annotations thermométriques, l'existence, à 150 fathoms (274^{m},20), d'un minimum dans la progression, et à partir duquel il se manifestait de nouveau un accroissement plus rapide. De pareils résultats, obtenus dans des lieux différents et par trois observateurs aussi exercés, doivent faire suspendre encore toutes les généralisations que l'on serait tenté de faire, jusqu'à ce qu'ils aient été confirmés ou infirmés d'une manière irrécusable. Dans le premier cas on conçoit que toutes les expériences exécutées dans les puits artésiens se trouveraient entachées d'une telle cause d'erreur qu'elles deviendraient presque sans valeur. Il s'en faut donc de

---

(1) *Bull.*, vol., XII, p. 265. 1841.

Voyez aussi P. A. Siljestroem, *Sur l'emploi de la température des sources pour la détermination de la chaleur du globe* (*Forand. vid del f. skandinav. naturforsk.* 1842. Stokholm, 1843, p. 477-482.)

Digitized by Google

beaucoup que nous puissions encore tracer, même grossièrement, quelques lignes ou plutôt quelques plans courbes isothermes à l'intérieur de la terre; mais lorsque les matériaux seront devenus plus nombreux, on devra s'occuper d'un travail général, analogue à l'excellent mémoire que M. Cordier a publié en 1827 (1), et dans lequel tous les éléments acquis à la science seront alors repris et discutés ainsi que les méthodes d'expérimentation qui ont été employées pour les obtenir.

---

(1) *Essai sur la température de l'intérieur de la terre* (*Mém. de l'Acad. des sciences*, vol. VII).

Digitized by Google

Digitized by Google

CHAPITRE III.

MÉTÉOROLOGIE.

L'influence des phénomènes météorologiques sur le développement du règne organique tout entier est, comme on sait, de la plus haute importance, et la faune et la flore d'un pays nous traduisent, pour ainsi dire, les conditions climatologiques sous lesquelles y vivent les animaux et les végétaux; il y a là un rapport nécessaire et intime de cause à effet. Or, l'étude des terrains, considérés, soit dans leur succession ou dans le temps, soit horizontalement ou dans l'espace, nous permet d'apprécier aussi, par les différences organiques que nous y constatons, les modifications des climats ou les circonstances météorologiques qui les ont produites. A mesure que nous descendons dans la série des dépôts, nous y trouvons une moins grande variété dans les types principaux des êtres organisés, et nous sommes amenés de proche en proche à penser que l'uniformité des climats anciens en est la véritable cause. Mais comme nous ne pouvons guère admettre que ce soit l'énergie des rayons solaires ou leur répartition qui ait changé, nous sommes invinciblement conduits à chercher sur notre globe lui-même la raison de cette uniformité des climats anciens. L'hypothèse d'une température propre plus élevée, et due à un reste de son incandescence première, reçoit donc une nouvelle confirmation de l'examen comparatif de tous ces faits d'ordres différents; et l'influence solaire, se faisant d'autant plus sentir ensuite que cette température originaire s'affaiblissait, vient expliquer de la manière la plus naturelle cette succession de circonstances climatologiques de plus en plus variées.

Malgré l'étroite liaison de la météorologie avec la science dont nous nous occupons, nous ne pouvons traiter ici que des principales causes qui ont eu, ou peuvent avoir encore quelque action directe et générale sur les produits organiques et inorganiques de la surface de la terre, et qui se rattachent par conséquent aux phénomènes géologiques de l'époque actuelle; leur examen rapide nous servira ainsi d'introduction à l'étude du terrain moderne. Nous renvoyons d'ailleurs, pour plus de détails, à l'excellent *Cours de météorologie* de M. F. Kaemtz, traduit en français et augmenté

Digitized by Google

d'un grand nombre de notes par M. Ch. Martins (1), ainsi qu'aux nombreux travaux de Peltier, si prématurément enlevé aux sciences, et dont une excellente analyse vient d'être publiée par son fils (2). Pour la météorologie de la France en particulier, nous signalerons l'*Essai* qu'a publié aussi M. Ch. Martins dans *Patria* (3). Ce résumé clair et précis, auquel l'auteur a rattaché de la manière la plus heureuse la géographie des plantes de notre pays, sera toujours lu avec un vif intérêt et consulté avec fruit.

§ 1. Température du sol due à l'action solaire.

De même que dans le chapitre précédent nous avons traité de la température intérieure, à partir du plan de température constante et en nous enfonçant dans les couches de la terre, de même dans celui-ci nous nous occuperons de la température, à partir de ce plan, mais en nous élevant vers la surface du sol, puis dans l'atmosphère, pour y examiner l'action des rayons solaires calorifiques, tant sur la partie superficielle de la croûte terrestre que sur la masse aérienne qui l'enveloppe de toutes parts.

Suède. A Stockholm M. Rudberg (4) a établi que la température moyenne du sol, au moins jusqu'à 3 pieds au-dessous de sa surface, était indépendante de la profondeur, et qu'il en était probablement de même jusqu'à la limite des variations annuelles. Cette moyenne serait, à Stockholm, plus élevée que celle de l'air, qui est 5°,7, étant de 6°,60 à 1 pied de profondeur, 6°,61 à 2 pieds, et

Laponie. de 6°,62 à 3 pieds. A Bossekop, en Laponie, M. A. Bravais a constaté qu'un thermomètre placé dans le sol, à la profondeur de 8^m,5. n'avait pas varié de 1° dans le cours d'une année (5).

Écosse. M. J. D. Forbes (6), après quatre années d'observations consécu-

(1) *Vorlesungen über Meteorologie*, in-8, Halle, 1840. — *Cours complet de météorologie*, in-12, 523 p., 10 pl. Paris, 1843.

(2) *Notice sur la vie et les travaux scientifiques de J. C. A. Peltier;* in-8. Paris, 1847.

(3) *Météorologie de la France* (*Patria*, p. 179—287). 1844.

(4) *Ann. der chem. und physik de Poggendorff*, vol. XXXIII, n° 16. — *L'Institut*, 25 mars 1835.

(5) *Revue indépendante*, 25 décembre 1843.

(6) *Bull. de l'Acad. de Bruxelles*, vol. IX, p. 14. 1842. — Voyez aussi : *Account of some experiments*, etc. *Relation de quelques expériences sur la température de la terre à différentes profondeurs et dans différents sols, près d'Edimbourg* (*Transac. r. Soc. of Edinburgh*, vol. XVI, p. 189. 1846).

Digitized by Google

tives faites de 1837 à 1840, aux environs d'Édimbourg, a trouvé que la profondeur moyenne à laquelle les variations annuelles de température se réduit à 0°,01 est dans le trapp à 55 pieds 6 pouces, dans le sable à 66,1, et dans la pierre calcaire à 96,8. La vitesse de la propagation de la chaleur, pour descendre de 1 pied, est en moyenne, pour les *maxima*, de 7,2 jours dans le trapp, de 6,8 dans le sable, et de 4,2 dans le calcaire. Les *minima* sont 6,2 jours, 5,5, et 3,4 (1).

M. Quetelet (2) a observé qu'à Bruxelles, en 1838, le plus grand froid du mois de janvier n'avait été ressenti à la profondeur de 7m,80 que vers le 20 juin (les observations antérieures indiquaient toutes le 18 du même mois). Le maximum de température de la même année s'est manifesté à la même profondeur le 15 décembre (la moyenne des années précédentes s'était trouvée vers le 12 du même mois). Les oscillations thermométriques décroissent ainsi à mesure qu'on descend plus bas, et à 7m,80 la différence entre le maximum (12 décembre) et le minimum (18 ou 19 juin) n'est que d'environ 1° 1/2. De ces observations, qui concordent avec celles de M. J. D. Forbes à Édimbourg, il résulte que les variations thermométriques annuelles décroissent suivant une progression géométrique, quand on s'abaisse au-dessous de la surface du sol suivant une progression arithmétique. La théorie indique que, dans un même lieu, les variations diurnes produisent les mêmes effets que les variations annuelles, mais dans des limites de terrain moins étendues, et dans le rapport des racines carrées des temps, ou : : 19 : 1. Belgique.

M. Quetelet (3) a continué depuis ses observations avec le plus grand soin ; mais les premiers résultats, conformes d'ailleurs à la théorie mathématique de la chaleur, ne paraissent pas en avoir été sensiblement modifiés. Les variations de température descendent d'un mouvement à peu près uniforme en parcourant 24 pieds en 144 jours (soit 1 pied en 6 jours ou 2 pouces par jour). Le sol de Bruxelles, où ces observations sont faites, étant un sable mêlé de silex, les variations annuelles réduites à 0°,01, pour qu'on puisse

(1) *Compt. rend.* vol. VIII, p. 85. 1839.
(2) *Bull. de l'Acad. de Bruxelles*, vol. VI, 2e part., p. 51. 1839.
(3) *Ibid.*, vol. VII, p. 86. 1840 ; *ibid*, 2e part., p. 76. — *Mém. de l'Acad. de Bruxelles*, vol. X et XIII. 1836 et 1840. — *Annales de l'Observatoire de Bruxelles*, vol. IV. 1845.

Digitized by Google

les comparer à celles des environs d'Édimbourg, doivent se trouver à 75 pieds 9 pouces de profondeur.

Allemagne. M. G. Bischof (1), après avoir cherché si l'influence de la pluie et des autres météores aqueux produisait de plus grandes variations dans les températures du sol que dans celles de l'air, a démontré que sous les tropiques, comme sous la zone boréale, cette cause était toujours très faible. Il a fait voir en outre que la profondeur à laquelle cessait l'effet de la température extérieure était très variable sur divers points. D'après un grand nombre d'observations faites dans les mines de Prusse, entre 50° et 51°,5 de latit. N., on a trouvé que, dans quelques unes, l'influence extérieure cessait à 27 pieds, et que dans d'autres elle pouvait s'étendre jusqu'à 55 pieds, 63 pieds et même davantage; enfin qu'à 155 et 159 pieds elle est complétement insensible. Les observations faites dans l'Erzgebirge ont donné des résultats semblables, et l'on sait que dans les caves de l'Observatoire de Paris, à 86 pieds de profondeur (28 mètres), les variations annuelles sont réduites à $\frac{0}{128}$. Les *maxima* de froid ou de chaleur, à des profondeurs égales et sous la même latitude, n'arrivent point partout en même temps, ni chaque année à la même époque dans le même lieu.

Asie. Sibérie orientale. Un puits creusé à Iakoutsk (2), sur le bord de la Lena, a présenté un certain intérêt scientifique, d'abord par la connaissance qu'il a donnée des couches traversées, et ensuite par les observations thermométriques qui y ont été faites pour obtenir la progression que suivait la température en s'enfonçant dans un sol glacé. Les dépôts traversés sont d'une époque récente et composés de sables, d'argiles et de bois bitumineux, le tout mélangé de glace. On n'y travaillait que l'hiver, parce qu'en été les lumières s'y éteignaient, l'air chaud de la surface ne pouvant remplacer l'air froid et pesant du puits, tandis que l'inverse avait lieu pendant l'hiver. Les premières observations faites par le propriétaire, M. Cherguine, commencèrent à 77 pieds russes au-dessous de la surface du sol, et de ce point jusqu'au fond, à 305 pieds, l'élévation totale fut de

(1) *On the cause of the temperature*, etc... Sur la cause de la température des sources thermales et sur leurs rapports avec la question générale de la température de la terre. Mémoire couronné par l'Acad. des sciences de Harlem (*Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXIII, p. 320).

(2) Helmersen, *Observations sur un puits creusé à Iakoutsk* (*Ann. du journ. des mines de Russie*, vol. V, p. 343. 1838).

Digitized by Google

5° R. Cette élévation n'était pas d'ailleurs de 1° pour 61 pieds, mais elle était irrégulière et plus rapide vers le haut que vers le fond. Le 24 avril 1837, à la profondeur de 54 sagènes (115^m,25), la température du fond était — 0°,5, celle du sol, à l'orifice du puits, était aussi 0°,5, et à midi la température de l'air était — 7°,0; enfin, à 11 sagènes (23^m,47), la température de la roche, dans le puits, était — 5°,5.

M. Middendorff (1), connu par les périlleux voyages qu'il a récemment exécutés sur les bords de la mer glaciale, puis à travers les monts Stanovoï et le bassin inférieur du fleuve Ameûr, a fait dans le puits de M. Cherguine une série d'observations dont nous allons rendre compte. Il a placé deux thermomètres dans chacune des galeries percées dans les parois du puits, à onze niveaux différents. L'un de ces thermomètres était placé à 7 pieds anglais de l'ouverture de chaque galerie, l'autre à 1 pied seulement. Les galeries ont été soigneusement fermées et les instruments y sont restés depuis deux jusqu'à vingt-six jours. Le 24 mars, la température de l'air, à midi, étant — 6°,8, un thermomètre placé dans un trou percé en terre, à 7 pieds au dessous de la surface du sol, marquait — 14°,7. A la même profondeur, dans le puits, le premier instrument marquait — 13°,1; le second, ou le plus enfoncé dans la galerie, — 14°,45. A mesure qu'on descendait, les autres thermomètres s'élevaient successivement, et à 382 pieds ils indiquaient — 2°,4 et — 2°,4. Le puits fut ensuite couvert pendant huit jours et l'on recommença les lectures. L'air extérieur étant à — 6°,10, les thermomètres d'en haut marquaient — 13°,7 et — 12°,3, et ceux du fond du puits — 2°,35 et — 2°,4. A toutes les profondeurs au-delà de 50 pieds, les deux thermomètres s'accordaient sensiblement, mais, au-dessus, les différences qu'ils ont présentées étaient dues à l'influence de la température extérieure. La profondeur totale du puits est de 384 pieds anglais (117 mètres); son orifice est à 36 pieds au-dessus du point le plus bas des eaux de la Lena, et son fond par conséquent à plus de 300 pieds au-dessous du lit de la rivière. M. Cherguine étant mort pendant les travaux, son fils, qui doit les faire continuer, se propose aussi de poursuivre les observations thermométriques.

Dans cette circonstance, comme dans beaucoup d'autres que

---

(1) *L'Institut*, 23 avril 1845. — *Extr. des séances de l'Acad. des sciences de Saint-Pétersbourg*, 2ᵉ trimestre de 1844.

nous indiquerons, les erreurs de chiffres, en tenant compte des différences d'unités de mesures, se sont tellement multipliées dans les diverses sources où nous avons puisé, qu'il est presque impossible d'en déduire la progression réelle de la température dans ce sol glacé, ce qui nous a engagé à reporter dans la note ci-dessous les éléments de la discussion (1). M. A. Erman (2) a fait connaître que l'épaisseur de la couche dégelée à la surface du sol, dans cette partie de la Sibérie, était, au mois de septembre 1838, de 4 pieds 8 pouces dans les parties boisées, et de 6 pieds 8 pouces dans les marécages. Ordinairement elle ne l'est pas de plus de 3 à 4 pieds 1/2. Sur divers points, à la fin de juillet, la température, à 1 pied 6 pouces de profondeur, a varié de 2° à 4° R. Dans l'hiver, les petites rivières sont à sec, excepté lorsqu'elles sont alimentées par des sources; dans ce dernier cas, l'eau se fait jour à travers la couverture de glace. Il se forme en outre des surfaces glacées qui souvent résistent à la chaleur des étés. Dans certaines expositions favorables le seigle est encore cultivé et donne des produits qui peuvent indemniser des soins de la culture.

Inde. M. J. Caldcott (3) a fait des observations à des profondeurs de

---

(1) Les chiffres attribués à M. A. Erman (*Comp. rend.*, vol. VI, p. 501. 1838) diffèrent de ceux qui ont été donnés dans les *Comptes rendus de l'Acad. de Saint-Pétersbourg*, 1838, p. 33. — *Ann. de chim. et de phys.*, vol. LXIX, p. 32; mais ils s'accordent avec ceux que nous avons cités. M. de Humboldt (*Asie centrale*, vol. III, p. 95) mentionne les observations rapportées par M. Wrangel, dont les chiffres sont aussi un peu différents. L'accroissement de température serait de 1° pour 13 mètres entre 72 et 327 pieds de roi, c'est-à-dire très rapide, tandis que d'après M. Middendorff il serait très lent. On voit, en outre (*Comp. rend.*, vol. XXII, p. 86. 1846), que ce dernier voyageur a trouvé la température du fond du puits — 3° (on a dit plus haut qu'elle était — 2°,4, et d'après M. Cherguine — 0,5), et que la température s'accroît de 1° pour 100 pieds. M. Murchison (*Address to the geogr. Soc. of London*, p. 67. 1845) indique, toujours d'après M. Middendorff, la température du fond du puits — 2°,4 R., et il est probable, ajoute-t-il, que le sol gelé descend jusqu'à 600 pieds. — Voyez aussi Erman, *Reise*, etc., vol. II, p. 250-252. — De Baer, *Alman. fur Erdskund de Berghaus*, 1839, p. 57-69. — *Journ. of the geogr. Soc. of London*, vol. VIII, part. II, p. 200-213.

(2) *Compt. rend. de l'Acad. de Saint-Pétersbourg*, 1838, p. 33. — *Ann. de chim. et de phys.*, vol. LXIX, p. 32.

(3) *Proceed. r. Soc. of Edinburgh*, n° 22, p. 432. 1843. — *Bull. de l'Acad. de Bruxelles*, vol. IX, 2e part., p. 204. 1842.

Digitized by Google

3, 6 et 12 pieds anglais à Trevadrum (8°, 30′ 35″ Lat. N.), et la moyenne température annuelle qu'il en a déduite serait 79°,24 F. (26°,25 C.). Pour les mois de mai, juin, juillet et août, la température de l'air s'est constamment maintenue au-dessous de celle du sol, contrairement à l'opinion de M. Kupffer, et, à une seule exception près, sur quinze lectures thermométriques, elle s'accroîtrait de la surface à 3, 6 et 12 pieds de profondeur, ce qui serait également opposé au résultat annoncé par M. Boussingault, savoir : que la couche de température invariable se trouve, dans cette latitude, à 1 pied seulement (0m,32) au-dessous de la surface. M. Caldcott a fait ses observations sur la montagne de l'Observatoire, dont le sol est composé de latérite.

L'opinion que nous venons de rappeler, émise par M. Boussingault (1) pour la partie de l'Amérique méridionale comprise entre 11° lat. N. et 5° lat. S. et d'après un très grand nombre d'observations faites avec soin, a été également contestée par M. Newbold (2). D'après ce dernier, la température des sources les plus profondes dans les basses latitudes est un peu inférieure à la température moyenne de l'air. Il y a cependant des exceptions dans le voisinage des hautes chaînes. L'auteur a recueilli de nombreux documents sur ces questions, et pense que la méthode qui consiste à placer un thermomètre à un pied de profondeur dans le sol pour obtenir la température moyenne de la zone équinoxiale n'est pas exacte, puisqu'à cette profondeur les variations annuelles sont encore sensibles. Dans les sols légers il y a en outre une variation diurne, et ces diverses variations sont en rapport avec l'intensité relative des rayons solaires et avec la quantité du rayonnement, lesquelles dépendent de l'état de l'atmosphère et du plus ou moins d'abri fourni par la surface.

M. G. Bischof (3), en adoptant la donnée précédente de M. Bous-

---

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, vol. LIII, p. 244-247. 1833. — Voyez aussi : Codazzi, *Resumen de la geografia de Venezuela*, p. 82. 1841.

(2) *Sur la température des sources, puits et rivières de l'Inde et de l'Égypte, etc., avec des remarques sur le mode proposé par M. Boussingault pour déterminer la température des régions équinoxiales* (*Soc. r. de Londres*, 1844. — *Philos. transac.*, part. I, p. 125. 1845. — *L'Institut*, 17 juillet 1844). — M. de Humboldt (*Cosmos*, p. 248) paraît avoir écrit 1 mètre pour 1 pied, car le tableau de la note p. 524 indique bien 1 pied ou 0m,32.

(3) *Ann. der chem. und physik de Poggendorff*, n° 6. 1835.

Digitized by Google

singault pour la zone équatoriale, avait remarqué que les influences extérieures cessent, sous la zone tempérée boréale, de 25 à 77 pieds, et dans la Sibérie septentrionale, à 90 pieds ; et il en avait conclu que la courbe formée par cette ligne donnerait un ellipsoïde un peu plus aplati que le globe lui-même. Quoique cette déduction soit probable, les discordances que nous avons déjà signalées entre les résultats obtenus, comme avec ceux dont nous allons parler, prouvent que l'état actuel de la science ne permet pas encore à cet égard de généralisations précises.

Amérique du Nord.

M. Richardson (1), en cherchant à déterminer la limite inférieure de la couche glacée, à Fort-Simpson, sur la rivière Mackenzie, station qui est placée à la même latitude que Iakoutsk (62° lat. N.), l'a trouvée beaucoup moins basse que sur ce dernier point ; car il l'a fixée à 26 pieds au plus, au-dessous de la surface du sol. Nous avons vu que cette limite n'avait pas été atteinte en Sibérie, à la profondeur de 384 pieds; le froid serait donc beaucoup plus intense, à latitude égale, sur le continent asiatique que sur le continent américain.

Amérique du Sud. Brésil.

La température moyenne de Rio-Janeiro a été évaluée, par M. E. Chevalier (2), à 24°,2 d'après des observations faites à 1 pied de la surface du sol et à la profondeur de 3 mètres, dans un puits ; mais, comme l'auteur s'est basé sur les données de M. Boussingault, que nous avons vues contestées, il serait également possible que cette moyenne dût subir quelque correction, d'autant plus que la capitale du Brésil se trouve presque sous le tropique.

§ 2. Température de l'atmosphère.

La température de l'air, par son influence sur les phénomènes de la vie, soit des végétaux, soit des animaux, est constamment l'objet d'observations et de recherches dont l'intérêt immédiat est facilement apprécié ; nous nous bornerons cependant à quelques généralités sur cette partie importante de la météorologie et à l'énoncé de quelques faits peu connus qu'il peut être utile de rappeler.

---

(1) *Sur le terrain glacé de l'Amérique du Nord* (*Edinb. new phil. Journ.*, janv. 1841. — *Bibl. univ. de Genève*, mars 1841. — *L'Institut*, 20 mai 1841).

(2) *Géologie et minéralogie* du voyage de la corvette *la Bonite*, p. 18. 1844.

Nous avons déjà vu (*antè* p. 19) les considérations auxquelles s'était livré Poisson pour évaluer l'intensité de l'action du soleil sur la température de l'air et sur celle du sol ; nous n'y reviendrons pas, et nous passerons de suite au mémoire si important qu'a publié M. Pouillet, en 1838 (1), et dont nous essaierons de donner une idée sans l'aide des calculs. Les recherches de ce savant académicien sur la quantité de chaleur que la terre et l'atmosphère reçoivent annuellement du soleil l'ont d'abord amené à reconnaître (p. 32) que, « lorsque » l'atmosphère a toutes les apparences d'une sérénité parfaite, » elle absorbe encore près de la moitié de la quantité totale de » chaleur que le soleil émet vers la terre, et c'est l'autre moitié » seulement de cette chaleur qui vient tomber sur la surface du sol » et qui se trouve diversement répartie, suivant qu'elle a traversé » l'atmosphère avec des obliquités plus ou moins grandes.

» Si la quantité de chaleur que la terre reçoit du soleil dans le » cours d'une année était uniformément répartie sur tous les points » du globe, et qu'elle y fût employée sans perte aucune à fondre » de la glace, elle serait capable de fondre une couche de glace qui » envelopperait la terre entière et qui aurait une épaisseur de » 30^{m},89, ou près de 31 mètres. Telle est la plus simple expression » de la quantité totale de chaleur que la terre reçoit chaque année » du soleil. »

Considérant ensuite la terre comme un globe entouré d'une enveloppe diathermane et placé au milieu d'une enceinte sphérique, M. Pouillet s'attache à déterminer, par l'analyse, l'action que peut exercer cette enveloppe, soit sur le globe, soit sur l'enceinte, d'après les divers pouvoirs absorbants ou émissifs de ses deux surfaces. Toutes les enveloppes diathermanes, dit-il (p. 43), qui exercent des pouvoirs absorbants égaux sur les rayons de chaleur du globe et de l'enceinte, n'empêchent pas que, pour l'équilibre, le globe et l'enceinte ne doivent avoir exactement la même température que si l'enveloppe diathermane n'existait pas, et réciproquement. Quant à la température de l'enveloppe diathermane elle-même, elle ne peut être égale à celle du globe et de l'enceinte que si son pouvoir émissif est égal à son pouvoir absorbant ; mais s'il en est autrement, et, si l'enveloppe exerce des pouvoirs absorbants inégaux sur la

---

(1) *Mémoire sur la chaleur solaire, sur les pouvoirs rayonnants et absorbants de l'air atmosphérique, et sur la température de l'espace* (*Compt. rend.*, vol. VII, p. 24. 1838).

Digitized by Google

chaleur de l'enceinte et sur celle du globe, il se manifeste, contrairement aux lois ordinaires de l'équilibre, des différences plus ou moins considérables entre les températures du globe, de l'enceinte et de l'enveloppe. Le tableau que donne M. Pouillet (p. 44) fait voir, par exemple, que si l'enveloppe diathermane absorbe seulement les $\frac{3}{10}$ de la chaleur de l'enceinte et les $\frac{8}{10}$ de celle du globe, la température de ce dernier surpasse alors de 45°,5 celle de l'enceinte, et de 59°,5 celle de l'enveloppe, qui se trouve alors à 14° au-dessous de la température de l'enceinte elle-même. La limite de l'accumulation de la chaleur sur le globe et du refroidissement de l'enveloppe est de 91°.

Les exemples précédents conduisent à ce résultat que, si une enceinte a ses parois maintenues partout à la température de la glace fondante, un globe suspendu au centre de cette enceinte, n'ayant d'autre chaleur que celle qu'il en reçoit, peut cependant, sous certaines conditions, être porté à la température de 40 à 50° au-dessus de zéro, c'est-à-dire beaucoup au-dessus de celle de la zone torride, et conserver cet excès de température sans se refroidir. Pour que cela ait lieu, il faut seulement que le globe soit protégé par une enveloppe diathermane douée de la double propriété de n'absorber que la moitié de la chaleur émise par la surface de l'enceinte, et d'absorber au contraire les $\frac{9}{10}$ environ de la chaleur émise par la surface du globe. En outre, si cette enveloppe était comprise entre une enceinte à zéro et un globe à 45 ou 50°, elle n'aurait, en somme, qu'une température moyenne abaissée de plusieurs degrés au-dessous de zéro, ses couches inférieures étant plus chaudes que l'enceinte, et ses couches supérieures beaucoup plus froides, suivant une loi que l'on peut calculer. Quant à la cause de l'inégale absorption des enveloppes diathermanes, elle tient à la nature propre des rayons calorifiques ou à la source d'où ils émanent, et aussi à la nature elle-même des substances diathermanes.

La chaleur solaire (p. 46), en traversant les substances diathermanes, est moins absorbée que celle qui provient des différentes sources terrestres dont la température n'est pas très haute, et l'on admet que la couche atmosphérique exerce sur les rayons terrestres une plus grande absorption que sur les rayons solaires, différence qui ne résulte pas de ce que la chaleur solaire est lumineuse et la chaleur terrestre obscure, les rayons lumineux et les rayons calorifiques étant distincts, mais de propriétés particulières que pren-

Digitized by Google

nent les rayons de chaleur lorsqu'ils sont émis par des sources d'une température plus ou moins haute.

Assimilant ensuite (p. 48) la chaleur de l'espace à la chaleur solaire, l'atmosphère à l'enveloppe diathermane, et faisant abstraction de l'action du soleil et de la chaleur interne du globe, M. Pouillet déduit des considérations précédentes : « 1° que la température de la surface de la terre est considérablement plus élevée » que la température de l'espace ; 2° que la température moyenne de » l'atmosphère est nécessairement inférieure à la température de » l'espace, et, à plus forte raison, à la température de la terre » elle-même ; 3° que le décroissement de la température dans l'atmosphère n'est point dû à l'action périodique du soleil, ni aux courants ascendants et descendants que cette action peut déterminer » près de la surface de la terre ; qu'il aurait lieu même quand le soleil » n'échaufferait ni la terre ni l'atmosphère, parce qu'il est une des » conditions d'équilibre des enveloppes diathermanes, et que sa véritable cause est dans les actions absorbantes inégales que l'atmosphère exerce sur les rayons de chaleur venant de l'espace, et » sur ceux qui sont émis tout autour du globe par la surface du sol » et par celle des mers. »

Les pouvoirs absorbants d'un même fluide élastique considéré comme substance diathermane, continue l'auteur (p. 50), sont proportionnels à sa masse et à sa capacité pour la chaleur. Si l'on suppose l'atmosphère terrestre divisée en cent couches concentriques de même masse, les pouvoirs absorbants de deux couches quelconques seront proportionnels à la chaleur spécifique de chacune d'elles. Près de la surface de la terre, où la pression est grande et la capacité petite, la proportion de chaleur absorbée sera, par conséquent, moindre que près des limites de l'atmosphère, où la pression est faible et la capacité grande ; mais en même temps la couche inférieure occupe une hauteur verticale beaucoup moindre que la couche supérieure.

(P. 53). Par l'application de ces principes, de diverses expériences de MM. Gay-Lussac et Welter, et de certaines formules de Poisson, M. Pouillet trouve que la température moyenne de la colonne atmosphérique est — 8°. La différence de température de deux couches est de 1° par 225 mètres pour l'étendue à laquelle la formule barométrique peut s'appliquer. (M. de Humboldt avait trouvé 200 mètres.)

Comme résultat définitif de ses recherches, l'auteur admet plus

loin (p. 61) que le soleil donne à la terre une quantité de chaleur, 1,7633 par minute et par centimètre carré, et que, par un ciel serein, l'atmosphère absorbe environ $\frac{1}{10}$ de cette chaleur et de celle de l'espace; elle absorbe aussi les $\frac{9}{10}$ de la chaleur émise par la terre, et la température de l'espace est — 142°. Les autres conséquences plus générales (p. 64) sont, que la quantité de chaleur que l'espace envoie annuellement à la terre et à l'atmosphère pourrait fondre sur le globe une couche de glace de 26 mètres d'épaisseur; et, comme on a vu que la quantité de chaleur solaire pouvait être exprimée par une couche de glace de 31 mètres, la terre reçoit, en somme, une quantité de chaleur représentée par une couche de glace de 57 mètres.

Quant à ce que ces résultats peuvent présenter d'extraordinaire au premier abord et de contraire à l'idée que l'on se fait, soit du froid de l'espace, soit de la puissance du soleil, on doit remarquer qu'à l'égard de la terre, le soleil n'occupe que les cinq millionièmes de la voûte céleste, et qu'il doit envoyer, par conséquent, deux cent mille fois plus de chaleur pour produire le même effet. Enfin, en examinant les températures au lieu des quantités de chaleur, M. Pouillet trouve encore que, si le soleil ne faisait pas sentir son action sur notre globe, la température de la surface serait partout uniforme et de — 89°. La température moyenne de l'équateur étant 27°,5, la présence du soleil augmente par conséquent la température de la zone équatoriale de 116°,5. De même la moyenne de la colonne atmosphérique serait, à l'équateur, de — 149°, et les formules ayant fait voir qu'elle était d'environ — 10°, la présence intermittente du soleil augmente de 139° la température moyenne de la totalité de l'atmosphère dans la zone torride.

Il y aurait, ainsi que l'a remarqué M. Daubrée (1), ce résultat commun entre les recherches de physique mathématique de M. Pouillet et les recherches mécaniques de Poisson, que la température des hautes régions de l'atmosphère serait plus basse que celle de l'espace dans lequel la terre se meut. On sait, en outre, et M. Daubrée l'a également rappelé, que Fourier regardait l'espace interplanétaire comme n'étant pas complétement dénué de chaleur, sans quoi, dit-il, les régions polaires éprouveraient un froid excessif et immense. Le décroissement de la température de l'équateur aux pôles serait infiniment plus rapide qu'on ne

(1) Thèse présentée à la Faculté des sciences. Paris, 1838.

Digitized by Google

l'observe, et, d'après ce grand mathématicien, les effets de chaleur que nous éprouvons étant presque exclusivement dus à l'action du soleil, les moindres variations de ce dernier dans sa position, par rapport à la terre, occasionneraient des changements très considérables dans la température, et la différence entre la température des jours et celle des nuits serait beaucoup plus prononcée. Enfin, examinant la question au point de vue mathématique, Fourier a conclu qu'il existait une cause qui tempérait l'abaissement du froid à la surface du globe, et des phénomènes actuels il a déduit une température de — 50° pour les espaces qu'il traverse.

Les variations de la température de l'air dans le sens vertical ont été peu observées, comparativement à celles qui se manifestent suivant la longitude et la latitude et sur lesquelles on possède déjà beaucoup de documents. Lors de sa mémorable ascension, M. Gay-Lussac a trouvé, à 6,980 mètres de hauteur au-dessus de la surface du sol, la température à — 9°,5, tandis que sur la terre elle était au même moment de 30°,75. L'abaissement étant de 40°,25 a donné un décroissement de 1° pour 170 mètres (1).

M. Watson (2), d'après des observations comparatives de la température de l'air et du sol, faites en s'élevant sur les montagnes des Grampians, admet que la température de l'air décroît plus rapidement de bas en haut que celle de la partie connue de l'écorce terrestre, de telle sorte, qu'à la hauteur de 1,000 pieds anglais au-dessus du sol la différence des deux températures est de 1°,27 F., à 2,000 pieds de 2°,55, à 3,000 pieds de 3°,82, et à 4,000 pieds de 5°,09 F. De son côté M. Forbes (3) a donné des observations *sur la diminution de température à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère, et pour les diverses saisons de l'année*. Ces variations ont été aussi constatées en s'élevant sur les montagnes. Au grand Saint-Bernard,

(1) M. de Humboldt, par des observations faites jusqu'à 6,000 mètres dans les Andes, a trouvé 1° d'abaissement pour 187 mètres; et, plus tard, M. Boussingault 1° pour 175 mètres (*Cosmos*, vol. I, p. 393).

(2) *Data towards determining*, etc. Données pour déterminer le décroissement de la température relativement à l'élévation au-dessus du niveau de la mer en Angleterre (*Magaz. of natur. history*, septembre 1834). — Voyez aussi : *Edinb. new philos. Journ.*, nov. 1832, janv. et avril 1833.

(3) *Edinb. new philos. Magaz.*, vol. XXIX, p. 205. 1840. — *Transac. r. Soc. of Edinburgh*, vol. XIV.

Digitized by Google

par exemple, à 2,941 mètres d'altitude, la température moyenne est à zéro, tandis qu'à Genève, à 407 mètres au-dessus de la mer, elle est de 10°,07.

M. Saigey (1) a établi que la théorie donne le rapport de 1 à 2,4 pour la quantité de chaleur versée par le soleil aux pôles et à l'équateur, par suite des mouvements de l'atmosphère et de l'Océan. Ce rapport est aujourd'hui de 1 à 2, et il aurait été, d'après l'auteur, de 1 à 1,7 lors de la formation des continents.

Plus récemment M. Forry (2) s'est attaché à démontrer l'harmonie des lois des climats et les causes générales et particulières qui les produisent. Après s'être occupé spécialement de la température de l'Amérique du Nord, l'auteur, étendant ses déductions plus loin, a fait voir que les côtes occidentales de l'ancien continent et du nouveau ont des températures annuelles plus élevées, à latitude égale, que les côtes orientales, en même temps que les températures extrêmes des saisons y sont moins prononcées. Ces résultats s'expliquent d'ailleurs facilement par les causes physiques.

M. J. Hamilton qui, dans les années de 1798 à 1817, a fait vingt-six fois le voyage entre Philadelphie et Liverpool, a trouvé que sur 2,029 jours le vent avait soufflé 208 jours du N., 167 du S., 361 de l'E., 1,101 de l'O., et il y a eu 192 jours de vents variables. Telle serait la cause du relèvement des lignes isothermes sur la côte occidentale des continents en dehors des tropiques, cause indiquée d'ailleurs depuis longtemps. On sait que la température est adoucie par le voisinage de l'Océan qui ne descend pas au-dessous de zéro, si ce n'est au-delà des cercles polaires, et une atmosphère humide, en passant sur la terre, tend à y établir un certain équilibre de température, de même que la condensation de la vapeur dégage du calorique latent. Comme les grandes masses d'eau ne sont jamais aussi froides en hiver ni aussi chaudes en été que la terre, les vents qui en proviennent concourent à maintenir un cer-

(1) *Sur la température de la terre* (*Compt. rend.*, vol. II, p. 160. 1836).

(2) *Researches in elucidation*, etc. Recherches pour servir à la connaissance de la distribution de la chaleur sur le globe, et en particulier sur les caractères du climat des États-Unis (*Amer. Journ.*, vol. XLVII, p. 18. 1844. — *Bibl. univ. de Genève*, vol. LXVII, p. 140. 1845. — *Edinb. new philos. Journ.*, vol. XXXIX, p. 68 et 213. 1845). — Voyez aussi : *The climates*, etc. Les climats des États-Unis et leur influence endémique; par le même.

Digitized by Google

tain équilibre de température. C'est l'inverse pour les vents de terre. D'autres circonstances locales, telles par exemple que la direction des courants marins de température différente, contribuent encore à augmenter l'inégalité des climats sur les côtes E. et O. des continents. Ces circonstances ont été mises dans tout leur jour par M. Ch. Martins dans son *Voyage botanique le long des côtes septentrionales de la Norwège*. La comparaison de la végétation sur les côtes de la Suède et sur celles de l'Océan du Nord a fourni à ce savant les rapprochements et les oppositions les plus intéressantes (1).

M. Boué (2) indique comme il suit les températures moyennes qu'il a obtenues pour les diverses parties de la Turquie d'Europe, en se basant sur des observations prises dans les sources, les fontaines et les puits.

« En écartant les observations douteuses, dit l'auteur, il résul» terait de ces soixante-dix observations, que 15° à 15° 1/2 centi» grades seraient la température moyenne de la partie tout à fait » méridionale de la Thrace, de la partie basse de la Macédoine » méridionale et des vallées basses de la Thessalie; mais il y aurait » aussi, surtout dans ce dernier pays, des localités plus chaudes » où la température moyenne irait à 16°; celle des vallées chaudes » de l'Albanie méridionale moyenne varie entre 14° et 15°; 14° » serait celle des dernières pentes méridionales dans les chaînes » bordant la Macédoine méridionale; 13° celle d'une partie de la » plaine tout à fait occidentale de la Thrace, des lieux habités les » plus élevés du Tekir-Dagh, et des vallées abritées et chaudes de » la Bulgarie et de la Servie; 12° 1/2 environ celle des parties basses » de ces deux derniers pays; 12° celle de certaines vallées basses » de la Haute-Mœsie, de la plaine d'Ipek et de Priseren, et même » de Scutari en Albanie; 11° à 12° celle des bassins élevés dans la » Macédoine occidentale et méridionale et de certains bourgs sous » les cimes du Pinde; 10 à 11° celle des plateaux bas de la Bulgarie » et de plusieurs vallées de la Haute-Mœsie; 9° 1/2 celle des parties

(1) Extr. des *Voyages de la corvette* la Recherche (*Société philomatique*, 7 fév. 1846. — *L'Institut*, id.). — Voyez aussi Kaemtz, *Cours complet de météorologie*, traduit en français par M. Ch. Martins, p. 146 à 225.

(2) *La Turquie d'Europe*, 4 vol. in-8, avec carte, 1840, vol. I, p. 522.

Digitized by Google

» supérieures des vallées débouchant dans le bassin de Scutari et abri-
» tées sur le côté nord ; 9° celles des vallons aux sources des rivières
» dans la Macédoine orientale ; 8° 1/2 à 8° 3/4 celle des montagnes en-
» core habitées dans la Haute-Mœsie ; 8 à 9° celle des cimes moyennes
» du Pinde ; 8° celle des plateaux bas de la Bosnie ; 6 à 6° 1/2 celle
» du bassin de Serajevo et de Travnik, ainsi que des plateaux élevés
» et habités dans la Bosnie méridionale ; 5° à 5° 1/2 celle des val-
» lons élevés dans les montagnes du même pays, et 3° celle des cols
» des hautes montagnes, entre la Bosnie et l'Albanie et d'autres
» sommités. »

M. de Humboldt a trouvé que la température moyenne du niveau de l'Océan, sous l'équateur, était de 27°,5 ; et M. Scoresby, qu'à la latitude de 78° N. elle était de — 8°,33 ; suivant la formule de M. Brewster la température moyenne du pôle serait — 17°,78. Ce chiffre a cela de très curieux, qu'il se trouve être exactement le zéro du thermomètre de Fahrenheit, en sorte que, si le calcul est exact, ce physicien aurait pris pour zéro précisément la température moyenne la plus basse de notre hémisphère (1).

Tout le monde sait quel vif éclat ont jeté sur la science les belles recherches de M. de Humboldt sur les lignes isothermes (2), partie si importante de la météorologie, presque inconnue auparavant, et qui se rattache également à la *Géographie des plantes*, cette autre création de l'auteur de l'*Asie centrale ;* mais dans ce dernier ouvrage M. de Humboldt a repris ce sujet sous un nouveau point de vue, et, en dégageant la question de ce qu'elle a de plus abstrait, en s'élevant à des généralités du plus grand intérêt et surtout en recherchant les causes premières des irrégularités de ces courbes, il a donné à cet ordre de phénomènes un nouvel et puissant attrait. Dans la première partie du volume (3) l'auteur développe des considérations sur la température et l'état hygrométrique de l'air dans quelques parties de l'Asie et surtout de la Russie asiatique. Il indique d'abord sommairement les contrastes que présentent l'Europe et l'Asie et qui comprennent l'ensemble des causes agis-

(1) De la Rive, analyse de la partie du *Traité de la chaleur*, de Poisson, qui se rapporte à la chaleur terrestre (*Bibl. univ. de Genève*, vol. LX, p. 279).

(2) *Mémoires de la Société d'Arcueil*, vol. III, p. 583.

(3) *Asie centrale ; recherches sur les chaînes de montagnes et la climatologie comparée*, 3 vol. in-8. Paris, 1843.

Digitized by Google

sant simultanément sur les inflexions des lignes d'égale chaleur annuelle et sur l'inégale répartition de cette moindre chaleur entre les différentes saisons. Nous regrettons de ne pouvoir le suivre dans l'énumération des preuves et des observations relatives à la climatologie de cette partie du globe, mais ce serait nous éloigner beaucoup trop de notre but, d'autant plus que, quant aux applications que l'on serait tenté d'en faire à la géologie, si l'on réfléchit aux éléments qui entrent dans la connaissance des lignes isothermes, isothères et isochimènes, on voit qu'il ne sera sans doute jamais possible de reconstruire ces lignes pour les époques anciennes de la terre.

M. de Humboldt (p. 172) a recherché avec un grand soin les effets des surfaces rocheuses, sableuses, gazonnées ou couvertes de forêts, sur la température de l'air, puis il est arrivé à faire voir (p. 227) la quantité dont 1° de latitude influe sur la température moyenne du lieu. Entre les parallèles de 38° et de 71°, le décroissement de la chaleur annuelle paraît être en Europe très près de 1/2 degré correspondant à 1° de latitude. Or, dans ce même centre de l'Europe, le décroissement de la chaleur, dans le sens vertical, est à peu près de 1 degré centésimal par 170 mètres, comme nous venons de le voir (*antè* p. 93), d'où il résulte que 1° de latitude correspond à 85 mètres en altitude. Dans l'Europe orientale le décroissement est régulièrement de 0°,40 par degré de latitude. Dans le système américain oriental, le décroissement est de 0°,88 de Nain sur la côte du Labrador, à Boston, et de 0°,95 de Boston à Charleston. Vers le tropique du cancer, de Charleston à la Havane, il est de 0°,66, ralentissement qui augmente ensuite dans la zone torride, tellement que de la Havane à Cumana le décroissement n'est que de 0°,20 pour 1° de latitude.

Les zones isothermes ont été divisées (p. 569) en sept groupes par M. de Humboldt, qui a placé à la fin de cette partie de son ouvrage quatre tableaux de M. G. Mahlmann, sur la répartition de la chaleur dans les deux hémisphères. Ces tableaux indiquent la température moyenne de l'année et la distribution de la température entre les diverses saisons. On y trouve inscrites les observations faites sur 315 points différents, depuis l'île Melville par 74°, 47′ lat. N. où la moyenne de l'année est — 18°, 7, jusqu'à Port-Famine, dans le détroit de Magellan, par 53°,38′ lat. S. Ils comprennent ainsi tous les éléments les plus précis

Digitized by Google

obtenus jusqu'à ce jour sur la distribution de la température à la surface du globe.

Dans la relation du voyage de circumnavigation de la corvette *la Bonite*, M. E. Chevalier (1) a consigné beaucoup d'observations relatives à la température comparée de l'air et de la mer sous diverses latitudes, et il a recherché les rapports des variations qu'elles présentent avec l'existence et la direction des courants.

M. de Strzelecki (2), après un séjour de cinq années à la Nouvelle-Hollande, a résumé tous les faits relatifs à la température du continent australien et de la terre de Van-Diemen. La température moyenne annuelle à Port-Macquarie, dans la Nouvelle-Galles du Sud, par 31°,25′ de lat. S., est de 68° F. (20° C.); à Port-Jackson, lat. 33°,51′, elle est de 66°,6 F., et à Port-Philip, lat. 38°,18′, de 61°,3 F. Dans la terre de Van-Diemen, à Woolnorth, lat. 40°,42′, la température moyenne annuelle est de 54°,4 F.; à Circular-Head, lat. 40°,40′, de 59°,7 F.; à Launceston, lat. 41°,26′, de 59° F. (15° C.), et à Port-Arthur, lat. 43°10′, de 57°,9 F. (3).

La distance en latitude entre Port-Macquarie, qui est la station la plus septentrionale, et Port-Arthur qui est la plus méridionale, où l'auteur ait observé, étant de 11°,45′, et la différence entre les températures moyennes de ces deux points étant 10°,1, M. de Strzelecki en conclut que pour 1′ de latitude le changement de température est 0,01432624 de 1° F. Ces observations nous présentent ainsi, pour le décroissement de la température dans cette partie de l'hémisphère Sud, une proportion sensiblement la même que celle que M. de Humboldt, comme nous venons de le dire, avait trouvée pour l'hémisphère Nord, entre 38° et 71° de lat. N.; car la fraction précédente devient pour 1° de lat. $\frac{859}{1000}$ de degré Fahrenheit, correspondant à peu près à 1/2 degré centigrade.

L'auteur fait voir ensuite que les variations extrêmes sont moin-

(1) *Géologie et minéralogie*, in-8. Paris, 1844.

(2) *Physical description of New South Wales*, etc. Description physique de la Nouvelle-Galles du Sud et de la terre de Van-Diemen, in-8, avec carte. Londres, 1845.

(3) Dans la quatrième colonne du tableau, l'auteur met 59°,36′, tandis qu'à la page précédente il écrit 57°,9′, comme la moyenne des saisons; et nous avons pris ce dernier chiffre, parce que c'est celui qui donne 10°,1, différence indiquée entre la moyenne de Port-Macquarie et celle de Port-Arthur.

Digitized by Google

dres que dans beaucoup de parties de l'hémisphère Nord, et que la moyenne annuelle des maxima et des minima n'est à Port-Philip que de 37°,3 F. Il résulte aussi de ces observations : 1° que la température entre huit et neuf heures du matin, en été, et neuf et dix heures, en hiver, représente la moyenne du jour de chaque saison; 2° que le minimum de la température de l'été est égal à la moyenne température de l'hiver; 3° que le maximum de l'hiver est égal à la moyenne de l'été.

Appendice bibliographique.

. . . . *Sur le rayonnement de la chaleur à la surface de la terre*. (*Fidssk. for naturvid.*, etc., vol. II, p. 265.)

H. W. DOVE. — *Über die nicht periodischen*, etc. Sur les changements non périodiques dans la distribution de la température à la surface de la terre, de 1782 à 1829, 2 vol. in-4. (Extr. des *Mém. de l'Académie de Berlin*, vol. X. 1839.
— (*Abh. d. k., Akad. der Wiss. in Berlin*, pour 1838, 39, 42. Berlin, 1844, vol. XIV, p. 117, 241).

§ 3. Température de la mer.

La difficulté de descendre les instruments à de très grandes profondeurs, et surtout de les préserver de l'effet des pressions énormes auxquelles ils s'y trouvent soumis, nous paraît laisser encore quelque incertitude sur la marche que suit la température en s'enfonçant dans la mer. M. Saigey (1) avait admis que la température moyenne de la surface de l'Océan était 17°,5; à la profondeur de 100 mètres, de 14°,5; à 200 mètres, de 12°,5; à 300 mètres, de 9°,0; à 1,000 mètres, de 7°,1, et que le fond de l'Océan devait être à 7°. Mais les observations directes ne sont point venues confirmer ces déductions théoriques. Il a établi en outre que la limite moyenne des glaces à la surface des mers se trouvait à 24° 26′ du pôle. L'épaisseur de la glace, à 20° 36′ du pôle, serait de 100 mètres, puis de 200 mètres à 17° 38′, de 500 mètres à 10° 36′, et de 1,000 mètres à 2° 25′, de l'extrémité nord de l'axe de la terre; ce qui, d'après les calculs de l'auteur, donnerait 162,000 lieues cubes pour le volume total de toutes les glaces polaires. Cette quantité uniformément répartie à

(1) *Compt. rend.*, vol. II, p. 160. 1836.

Digitized by Google

la surface du globe, produirait une couche de glace de 28 mètres d'épaisseur, c'est-à-dire, en appliquant ici ce que nous avons déduit des calculs de M. Pouillet (*antè* p. 89), une quantité un peu moindre que celle que pourrait fondre la chaleur solaire reçue par la terre dans le cours d'une année, si elle était uniformément répartie sur tous les points de la surface, et un peu plus élevée que celle que fondrait la chaleur envoyée annuellement par l'espace céleste à la terre et à l'atmosphère.

Le 27 juin 1837, la frégate la *Vénus* se trouvant par 32° lat. N. et 136° long. O., M. de Tessan (1) fit descendre une sonde qui n'atteignit pas le fond à 3,800 mètres. A cette profondeur la température s'est trouvée être 1°,7, celle de l'eau à la surface étant 27°. Ainsi, dans les abîmes de l'Océan, l'eau se trouve au moins à 2° au-dessous du maximum de densité de l'eau douce. Malgré l'excellente construction des appareils et leur solidité, la pression avait été telle que le tube, l'index, et l'échelle, avaient été pris, écrasés et retenus entre les faces comprimées et aplaties de l'étui de cuivre absolument comme dans un étau. Cependant M. de Tessan ayant retrouvé la marque de la boule de verre qui terminait la base de l'index, sur l'échelle, au moment où le tube s'est aplati, a pu en conclure la température à ce même moment.

M. de Humboldt a exposé l'état de cette partie de la science, et nous ne pouvons mieux faire que de résumer ce qu'il dit à ce sujet (2) : « Comme l'enveloppe aquatique de la superficie du globe, » dit-il, offre à l'action solaire trois fois plus d'aire que les terres » soulevées au-dessus des eaux, la connaissance précise de la dis- » tribution de la chaleur dans l'Océan est de la plus haute impor- » tance pour la théorie des lignes isothermes en général... Elle » a d'autant plus d'importance qu'elle pourra, dans les siècles » futurs, instruire les hommes, plus que tout autre phénomène, de » la constance des températures terrestres. »

Entre les tropiques et en pleine mer la température de l'Océan varie peu ; et entre 10° lat. N. et 10° lat. S. elle est partout la même. M. Arago (3), d'après les observations faites par M. de

(1) *Voyage autour du monde sur la frégate* la Vénus. Partie physique, vol. V. 1844. — *Compt. rend.*, vol. XI, p. 448. 1840.
(2) *Asie centrale*, vol. III, p. 348.
(3) *Comp. rend.*, vol. XI, p. 340. 1840.

Digitized by Google

Tessan à bord de la frégate *la Vénus*, a trouvé, pour la température moyenne de la région de l'Atlantique voisine de l'équateur, au mois de janvier 1837, à l'heure de midi, 26°,6 ; dans les régions équinoxiales de l'Océan pacifique, au mois de juin de la même année, 26°,9 ; et sous un méridien plus rapproché de celui de l'archipel Gallapagos, au mois de février 1839, 26°,9.

En faisant remarquer la concordance de ces valeurs, M. de Humboldt ne les regarde cependant que comme relatives et devant être trop faibles en réalité. Il pense que cette température moyenne doit être, près de l'équateur, un peu au-dessus de 27°,4. Entre les tropiques, dans toutes les mers où la surface est à 27°, la température, à de grandes profondeurs, est au-dessous de 4°. Ainsi, dans la mer des Indes, par 27° 47′ lat. S. et 98° long. E., à 990 brasses (1,608 mètres), la température s'est trouvée de 2°,8, la surface étant à 23°,8. Sur d'autres points on a constaté, à de grandes profondeurs, 3°,2, 3°,0 et 2°,5. L'auteur est porté à attribuer cette basse température à un courant sous-marin se dirigeant des pôles vers l'équateur.

On a généralement admis que la température des eaux, près des côtes, était plus basse qu'au large ; cependant des observations faites par M. Aimé (1) dans le voisinage d'Alger tendraient à faire penser le contraire ; car il a reconnu que, dans le jour et pendant tous les mois de l'année, la température s'abaisse d'une quantité notable quand on s'éloigne des côtes pour gagner le large ; il en est de même en descendant dans les profondeurs. Le décroissement est plus rapide en été qu'en hiver, et ce n'est qu'exceptionnellement que la température très près des côtes est, le jour et la nuit, plus froide qu'en pleine mer. A la surface, et dans le jour, la température augmente quand on s'approche des côtes ; la nuit, le phénomène inverse a lieu quelquefois. La température est plus basse dans les endroits où la mer est peu profonde qu'au large.

La température de la mer à sa surface est plus haute que celle de l'air pendant l'automne et l'hiver, et plus basse au printemps et en été. La moyenne annuelle est à peu près égale à celle de l'air ; mais la température des couches profondes s'abaisse jusqu'à 12°,6, mi-

---

(1) *Comp. rend.* 1844. — Murchison, *Address to the geogr. Soc. of London*, p. 72. 1845. — *Mém. sur la température de la Méditerranée* (*Ann. de chim. et de phys.*, 3ᵉ série, vol. XV, p. 1. 1845.)

Digitized by Google

nimum qu'elle ne dépasse pas, et qui a été constaté jusqu'à 350 et même 2,000 mètres dans le bassin de la Méditerranée.

Sur la terre la variation diurne est à peu près nulle à 1m,3 de profondeur, et la variation annuelle à 24 mètres. Le rapport de ces profondeur est :: 1 : 19 ou :: 1 : $\sqrt{365}^2$, nombre des jours de l'année. Les recherches sur les températures de la mer donneraient à peu près la même proportion. La variation diurne cesse à 18 mètres, et la variation annuelle entre 350 et 400 mètres. Au-delà de 200 la variation annuelle est très faible. M. Aimé n'a d'ailleurs tenu compte que des observations faites dans les temps de calme. Il pense qu'au-delà de la couche invariable la température de la mer doit s'accroître par l'influence de celle de la terre sur le fond de l'eau, et que les thermométrographes descendus à 2,000, 3,000 et 4,000 mètres, et qui ont marqué une température seulement de + 2 ou + 3°, n'indiquaient pas à quelle profondeur cette température avait été rencontrée par l'instrument.

La température moyenne de l'hiver est, pour Toulon, de 11°,7 ; pour Alger, 13°,8 ; la moyenne des deux 12°,7 donne la moyenne de la Méditerranée pendant l'hiver, nombre égal, suivant l'auteur, à celui qui a été obtenu pour la température minimum invariable des couches profondes, bien que nous l'ayons vue fixée ailleurs à 11°,7. Ainsi se trouverait confirmée l'opinion de M. Arago, que la température froide du fond de la Méditerranée ne résulte pas de l'entrée des eaux de l'Océan par le détroit de Gibraltar.

M. Mahlmann, dans ses observations sur la *température de l'Adriatique et de la mer Tyrrhénienne* (1), a trouvé que pour ces deux mers la température moyenne de l'air se maintenait entre 12°,5 et 18° R., et celle des eaux entre 15°,6 et 17° R. (2).

§ 4. Limite des neiges perpétuelles.

La limite inférieure des neiges perpétuelles de telle ou telle latitude est la limite estivale, ou le maximum de hauteur à laquelle

(1) *Neu. Jahrb.* 1845, vol. 1, p. 172-173.

(2) Voyez aussi Taylor, *On the temperature*, etc. Sur la température de la terre et de la mer. (*The Athenæum*, n° 957. 1846). — J. Davy. *On the temperature of the sea*. Sur la température de la mer et la pesanteur spécifique des eaux à sa surface. (*Edinb. new phil. Journ.*, vol. XL, p. 45. 1846.)

Digitized by Google

remonte la ligne des neiges dans l'année entière. Quoique ce soit le résultat de causes assez diverses, la température de l'atmosphère y entre, en général, pour la plus grande part, et ce motif nous engage à traiter ce sujet immédiatement après nous être occupé de la répartition de la chaleur à la surface de la terre.

Dans les Alpes, M. Agassiz (1) s'est occupé, comme par appendice à ses grands travaux sur les glaciers, de la détermination exacte de la limite des neiges à un point donné; et il a conclu de ses observations que la ligne des neiges perpétuelles était exactement indiquée, sur toutes les pentes des montagnes, par les contours de la couche superficielle des neiges tombées pendant le cours d'une année. Ces contours se dessinent nettement à la surface des couches plus anciennes, par suite de la marche progressive de ces dernières vers les régions inférieures. Tout ce qui est au-dessus de cette ligne est dans la zone du champ de neige, tout ce qui est au-dessous appartient à la zone du névé, jusqu'au point où commencent les bandes bleues qui caractérisent le glacier proprement dit.

M. Pentland (2), en élevant presqu'au premier rang des hautes cimes du globe le Sorata et l'Illimani, qui surmontent à l'E. le haut plateau de Bolivia, a déterminé dans cette région la limite des neiges, d'abord à 4,823 mètres, puis à 4,736, et enfin à 4,928 mètres d'altitude (3). Dans la chaîne de Vilcanota, qui réunit les chaînes est et ouest de la grande Cordilière, la limite inférieure serait à 4,815 mètres.

M. Darwin (4) a donné, de son côté, les résultats suivants pour l'Amérique du Sud. Sous la zone équatoriale la limite inférieure des neiges perpétuelles est indiquée, par M. de Humboldt, à 15,748 pieds anglais, comme résultat moyen. Dans la Bolivia, elle serait, depuis 16° jusqu'à 18° lat. S., à 17,000 pieds, d'après l'autorité de M. Pentland; mais nous venons de voir que les der-

---

(1) *Compt. rend.*, vol. XVI, p. 752. 1843.
(2) *Ibid.*, vol. VI, p. 831. 1838.
(3) *Ibid.*, vol. VII, p. 708. — *On the general outline*, etc. Essai sur la configuration physique des Andes boliviennes, avec des observations sur la ligne des neiges perpétuelles dans les Andes entre 15 et 20° lat. S. (*Journ. geogr. Soc. of London*, vol. V, p. 70. 1835. *Ibid.*, vol. VIII, part. 3, p. 427. — *Journ. de chim. et de phys.*, vol. LXVIII, p. 205.)
(4) *Narrative of the surveying voyage*, etc., vol. III. *Journal et remarques*, in-8. Londres, 1839.

Digitized by Google

nières observations de ce voyageur l'abaissaient à 4,928 mètres ou environ 16263 pieds anglais. Dans la Cordilière du Chili, par 33° lat., la limite, suivant Gillies, serait entre 14,500 et 15,000 pieds anglais; à Chiloë, de 40 à 43° lat., à 6,000 pieds, d'après les observations des officiers à bord du vaisseau anglais *le Beagle*. Enfin, à la Terre-de-Feu, par 54° lat. S., elle s'abaisserait à 4,000 et 3,500 pieds (1), tandis que dans l'hémisphère Nord il faut se rapprocher de 14° plus près du pôle pour trouver une limite aussi basse.

La limite des neiges n'est pas fonction seule de la latitude, et ce n'est pas sous l'équateur qu'elle atteint sa plus grande élévation au-dessus de la mer. M. de Humboldt (2), après avoir énuméré les causes qui concourent à la fixation de cette limite pour chaque point, fait voir qu'il n'y en a qu'une seule qui dépende de la latitude, savoir : la variation de la température. Cette dernière cause est sans doute la plus énergique; mais, comme l'abaissement graduel dépend plus encore du décroissement de la chaleur estivale que de la température moyenne de l'année entière, et que la première partie de ce décroissement varie beaucoup plus lentement avec la latitude que la seconde, en ne considérant que de petites portions de la courbe oscillatrice moyenne, on trouve des inflexions locales qui sont produites par l'action des causes accessoires, lesquelles augmentent ou affaiblissent la cause générale. La limite des neiges étant la manifestation de certains états de la surface du globe et d'une partie de l'atmosphère en contact avec sa surface, doit être regardée comme l'effet de causes multiples.

Bouguer, le premier, essaya de fixer la hauteur de la surface courbe qui passe par la limite inférieure des neiges sur toutes les montagnes du globe, et cette tentative, quoique imparfaite, restera dans la science comme un témoignage incontestable de la haute capacité de son auteur. Dans l'ouvrage que nous avons déjà cité (3), M. de Humboldt, après avoir énuméré les mesures prises par lui, et plus tard par M. Boussingault, dans l'Amérique centrale, les compare à celles qui ont été données par d'autres voyageurs, et en conclut successivement que la limite inférieure des neiges est,

(1) King, *Esquisse de la Terre-de-Feu* (*Journ. geogr. Soc. of London*. 1830 - 1831). — Voyez aussi : Grange, *Bull.*, 2° série, vol. III, p. 288. 1846.

(2) *Asie centrale*, vol. III.

(3) *Ibid.*, p. 255.

Digitized by Google

Sous la zone torride de 1° 1/2 lat. S. *à* 8° lat. N.

	mètres.	
Au Nevados de Quito, lat. 1° 1/2 S. à.	4,816	de Humboldt.
Ibid.	4,847	Boussingault.
Ibid.	4,798	moyenne de Bouguer.
Volcan de Puracé, 2° 18′ à.	4,703	de Humboldt.
Ibid.	4,669	Boussingault.
Volcan de Tolima, 4° 46′ N. à. . . .	4,670	de Humboldt.
Ibid.	4,686	Boussingault.
Sierra nevada de Merida, 8° 5′ N. à. .	4,550	Codazzi.

Sous la zone torride de 13° 1/4 *à* 19° 1/4 lat. N.

Montag. de l'Abyssinie, lat. 13° 10′ à. .	4,387	Rüppel.
Idem du Mexique, lat. 19° à 19° 1/4 à.	4,504	de Humboldt.

Sous la zone torride de 14° 1/2 *à* 18° S.

Cordilière orient. de Bolivia, moyen. à.	4,853	Pentland (1).
Idem occidentale, *idem*.	5,646	*idem*.

Dans la chaîne de l'Himalaya.

Versant sud ou indien à.	3,956
Versant nord ou tibétain à.	5,067
Dans la chaîne de l'Hindou-Kho, latitude 34° 1/2 à.	3,969

ce qui s'accorde avec la pente sud de l'Himalaya.

M. de Humboldt donne ensuite les plus grands détails sur la limite des neiges dans les zones tempérées nord et sud, puis dans la zone boréale au cap Nord et en Islande; il pense qu'il n'existe pas encore de documents suffisants pour savoir où la courbe des neiges, très différente d'une courbe isotherme *zéro*, devient osculatrice à la surface de la terre au niveau des mers dans l'hémisphère boréal. Là où la courbe est vraiment osculatrice, dit-il, il faut que la calotte de neige soit pendant tout l'été uniformément répandue, que la terre ne soit pas couverte de taches isolées de neige, et que les roches non couvertes ne présentent plus de lichens ni de touffes éparses de monocotylédonées.

(1) Ces nombres, attribués ici à M. Pentland, diffèrent un peu de ceux que nous avons donnés ci-dessus, comme aussi de ceux qu'a cités M. Darwin.

Le savant auteur de l'*Asie centrale* a donné (p. 360) un tableau (1) qui présente les points mesurés directement et par lesquels passe la courbe des neiges perpétuelles. Ces points s'étendent de 71° lat. N. au 54° lat. S. « Des éléments numériques, » dit-il (p. 344), qui paraissent rebelles aux simples rapports de » latitude, ne le sont aucunement aux lois basées sur les rapports » complexes de l'inflexion des lignes isothères, du degré de séche- » resse et de diaphanéité de l'air ambiant, de la réverbération des » plateaux voisins, de l'agroupement des montagnes, de leur masse » et de l'inclinaison de leur pente. Ainsi, nous voyons dans le nou- » veau monde baisser très lentement la limite des neiges vers l'extré- » mité de la zone torride boréale (Mexique) et se relever, au con- » traire, vers l'extrémité de la zone torride australe, sous le cli- » mat sec du Chili et de Bolivia.

» La vaste chaîne de l'Himalaya, en prenant la moyenne des » deux pentes, offre, par 30° lat. N., une hauteur des neiges » peu inférieure à celle qu'atteignent les neiges de la zone torride » du Mexique, par 19° de latitude. L'Argæus de l'Asie mineure, au » N. de la chaîne du Taurus, a, sous le parallèle du Bolor, des » neiges de près de 2,000 mètres plus basses. Le Caucase et les » Pyrénées sont presque sous la même latitude, mais les fortes cha- » leurs estivales de l'Asie relèvent la limite des neiges de près de » 600 mètres. Les brouillards éternels qui règnent à l'extrémité » australe de l'Amérique (lat. 53° S.) abaissent la ligne des » neiges au même point qu'on la trouve dans l'hémisphère opposé » (Norwège), 15° plus près du pôle boréal. L'intérieur de la pénin- » sule scandinave et son littoral, les pentes septentrionales ou tibé- » taines, méridionales ou indiennes de l'Himalaya, les Cordilières » orientale ou occidentale de Bolivia et du Chili, présentent, sous » des parallèles très rapprochés, les contrastes les plus frappants » dans la hauteur des neiges. Les connaissances que nous avons » acquises de la physique du globe et de l'influence qu'exercent tant » de *causes* superposées, sur la distribution de la chaleur et des va- » peurs dans les hautes régions de l'atmosphère nous mettent en » état d'expliquer, en grande partie, ce que, dans le tableau, la série » ascendante et descendante des éléments numériques offre d'ano- » malies apparentes. Aux yeux du physicien il n'y a d'accidentel

(1) Ce tableau a été reproduit par M. Martins dans la traduction française du *Cours de météorologie* de M. Kaemtz, p. 229.

« que ce qui se dérobe encore à l'analyse des faits bien observés. »

En disposant suivant une série linéaire les éléments nombreux rassemblés et discutés par M. de Humboldt, M. Durocher (1) a construit la courbe de la limite inférieure des neiges depuis l'équateur jusqu'au 78° de latitude boréale. Par suite de ses voyages au Spitzberg et dans le nord de la Scandinavie, il a pu aller plus loin que ses prédécesseurs et déterminer le point où la limite inférieure des neiges perpétuelles coupe le niveau de la mer. Ainsi, à Baeren Eiland (île Cherry), par 74°,30′ la limite inférieure ne serait qu'à 180 mètres, et sur la côte nord-ouest du Spitzberg, par 79° 1/2, les neiges descendraient jusqu'au niveau de la mer. Leur limite inférieure s'y trouverait même un peu au-dessous, et l'auteur place vers le 78° lat. N. cette limite au niveau même de l'Océan arctique.

M. Durocher s'est en outre attaché à faire voir que la loi suivant laquelle varie l'altitude normale des neiges perpétuelles, peut être représentée par une progression arithmétique dont la raison varie d'ailleurs beaucoup en passant de la zone équatoriale à la zone boréale, mais reste à peu près constante sur les 50° de latitude intermédiaires. En prenant pour unité une fraction de degré égale à 1′, on trouve que la raison est *nulle* sous la zone équatoriale, de 0m,358 sous la zone tropicale, puis devient trois fois plus grande ou de 1m,173, et à peu près constante, sur 50° d'étendue. Elle atteint son maximum dans la zone boréale, où la valeur moyenne est de 3m,259, et elle décroît ensuite pour n'être plus que de 0m,857 sous la zone polaire. Enfin, l'auteur indique, en terminant, les circonstances qui font dévier cette courbe de la courbe normale donnée par le calcul, si tous les points observés se trouvaient dans la même position par rapport à la mer.

Plus récemment encore M. Durocher a publié des *Études sur la limite des neiges perpétuelles* (2), travail dans lequel il a ajouté aux résultats que nous venons d'indiquer les observations qu'il a faites en 1845 dans les montagnes élevées de la Scandinavie. On y trouve en outre une analyse détaillée des causes physiques qui influent sur la limite des neiges, et ce mémoire doit être regardé

(1) *Mémoire sur la limite des neiges perpétuelles*, etc., partie de la géographie physique du voyage de la corvette *la Recherche*. 1845.

(2) *Ann. de chim. et de phys.*, 3e série, vol. XIX.

Digitized by Google

comme un nouveau service rendu à la physique du globe par ce géologue distingué.

Au Kamtchatka, par 57° lat. N., la limite des neiges a été déterminée, par M. A. Erman, à 1618 mètres (1).

§ 5. Glacières naturelles.

L'existence de la glace ou de la neige sur des points dont l'élévation et la température ne permettent pas leur conservation suivant les lois générales de la répartition de la chaleur, quoique due à des circonstances purement locales, qui ne sont pas encore bien connues, nous paraît devoir être mentionnée ici.

France. M. Rozet (2) a décrit une glacière naturelle située dans la vallée de la Vologne, à une lieue de Gérardmer (Vosges). Elle conserve de la glace jusqu'au mois de juillet, et quelquefois même pendant toute l'année. C'est une cavité de deux mètres de profondeur, dans un éboulement de blocs de granite à 600 mètres d'altitude, et exposée aux rayons du soleil pendant la moitié du jour.

Allemagne. On doit à M. Thomae (3) la description de la glacière souterraine du Dornburg, au pied méridional du Westerwald, et à M. Carson (4) celle d'une caverne glacée située au pied des Carpathes, dans la province de Thorn.

Russie. Sir R. I. Murchison (5), à la suite de ses voyages en Russie avec MM. de Verneuil et le comte de Keyserling, a signalé dans la steppe des Kirghiz, près d'Illetzkaya-Zastchita, le phénomène singulier que présente une cave dont l'intérieur est si froid pendant les plus fortes chaleur de l'été, qu'elle est remplie de glace, et que celle-ci disparaît pendant l'hiver, alors que toute la contrée est couverte de neige. M. J. Herschel a cherché à expliquer cette circonstance par la pénétration, à travers la colline de gypse dans laquelle se trouve

---

(1) *Compt. rend.*, vol. II, p. 469. 1836.

(2) *Descript. géol. de la partie méridionale de la chaîne des Vosges*, in-8, p. 109. 1834.

(3) *Das unterdische eisfeld*, in-8. Wiesbaden, 1841.

(4) *L'Institut*, 17 janvier 1844.

(5) *Proceed. geol. Soc. of London*, vol. III, p. 695. — *Russia and the Ural mountains*. La géologie de la Russie d'Europe et des montagnes de l'Oural, vol. I, p. 186. Londres, 1845. — Voyez aussi une explication de Nicholson, *ibid.* p. 191.

Digitized by Google

pratiquée la cave, tantôt de la chaleur de l'été, tantôt du froid de l'hiver, et cela d'après les lois de la propagation de la température dans le sol, telles que nous les avons indiquées ci-dessus (*antè* p. 83). M. Murchison, au contraire, est porté à admettre que les courants d'air qui circulent dans les nombreuses fissures de la colline occasionnent, au contact de l'air chaud et sec, une évaporation assez rapide pour abaisser la température et produire de la glace et de la neige.

Amérique du Nord. États-Unis.

M. C. B. Hayden (1) a fait connaître une circonstance assez différente dans une montagne du comté de Hampshire (Virginie). Cette montagne, dirigée du N.-E. au S.-E., est composée de grès. Sur sa pente nord-ouest est un talus d'éboulement très considérable formé de fragments de grès dont la grosseur varie depuis quelques pouces jusqu'à plusieurs pieds de diamètre, entassés sans ordre et laissant entre eux des vides nombreux dans lesquels la glace résiste aux chaleurs les plus fortes et les plus longues de l'été, et à quelques pouces seulement de la surface du talus.

Cette glace paraît due à la porosité des grès, qui par cela même sont de très mauvais conducteurs, et à la disposition caverneuse de toute la masse éboulée, dans laquelle se dépose la neige pendant l'hiver. Les roches environnantes produisent l'effet d'un corps réfrigérant qui, comme les réfrigérants artificiels, conservent une température indépendante des influences extérieures. Après avoir rappelé que les bergers de l'Etna couvrent la neige de quelques pouces de sable ou de cendre, qui suffisent pour la conserver tout l'été, puis qu'un courant de lave très étendu ayant recouvert une grande surface de glace et de neige, celle-ci s'est maintenue jusqu'à aujourd'hui (2), et enfin les caves du *Monte-Testaceo*, à Rome, où l'on observe des effets analogues, M. Hayden, revenant à la montagne de glace, pense que la teinte blanche de la roche contribue à réfléchir la chaleur et à empêcher son absorption. En outre, l'air, immédiatement au contact de la glace, plus pesant que l'air extérieur, excepté au milieu de l'hiver, ne peut être remplacé que dans les grands froids, et la glace, de son côté, ne peut être affectée par l'air chaud de l'été que si celui-ci est amené par les

(1) *Sur la montagne de glace du comté de Hampshire* (Virginie) (*Amer. Journ.*, vol. XLV, p. 78. 1843)

(2) Lyell, *Principles of geology*, etc., vol II, p. 124.

Digitized by Google

roches environnantes, dont la faible conductibilité ne permet pas une action suffisante pour opérer la fusion.

Un phénomène du même genre se présente encore, suivant M. Pearl Lathrop (1), à la montagne de Wallingford, dans le comté de Rutland (Vermont), mais il est moins complet que le précédant, la neige ne se conservant pas toute l'année. La disposition des lieux et les autres circonstances paraissent d'ailleurs y être les mêmes.

Appendice bibliographique.

. . . . . . *Glace en été entre des blocs de basalte près de Kameik Leitmeritz* (*Bohême*) (*Taschenb. de Leonhard*, vol. 1, p. 202).

Reich. — *Observation sur la glace pérennale dans les mines du Sauberg, près Ehrenfriedersdorf, en Saxe* (voyez son ouvrage sur la température de la terre).

Merian. — *Sur une glacière naturelle à Kalkofen, dans le canton de Bâle* (*Neu. Jahrb.* 1836, p. 222-223).

F. Keller. — *Bemerkungen*, etc. Observations sur les glacières naturelles et les cavernes à température très froide dans les Alpes suisses, in-4. Zurich, 1839.

§ 6. Composition de l'atmosphère.

Dans ses *Recherches sur la composition de l'air atmosphérique* (2), M. Boussingault avait d'abord trouvé : 1° que les miasmes se produisent par la décomposition de la matière végétale sous l'influence de la chaleur et de l'humidité ; 2° qu'ils paraissent être en suspension dans l'air ; 3° qu'il existe dans l'air même un principe hydrogéné qui est probablement du gaz hydrogène carboné.

Dans un autre travail fait en commun avec M. Dumas (3), ces deux savants ont trouvé, qu'abstraction faite de l'acide carbonique, du gaz carboné et des vapeurs accidentelles, la moyenne de dix expériences donnait en poids :

Oxygène.	0,2301
Azote.	0,7699
	1,0000

(1) *Amer. Journ.*, vol. XLVI, p. 331. 1843.

(2) *Ann. de chim. et de phys.*, vol. LVII, p. 148. 1835.

(3) *Compt. rend.*, vol. XII, p. 1005. 1841. — *Ann. des mines*, 3e série, vol. XIX, p. 599. 1841.

Digitized by Google

La densité des deux gaz, donnée par M. Berzélius, étant 1,1026 et 0,976, on a pour la composition en volume de 10,000 parties d'air :

Oxygène.	2086
Azote.	7889
	9975

Ce désaccord a engagé MM. Boussingault et Dumas à entreprendre une nouvelle détermination de la densité des gaz, et ils ont obtenu 1,1057 pour l'oxygène et 0,972 pour l'azote, nombres qui s'accordent avec les données précédentes de l'analyse en poids de l'air. Celui-ci est alors composé en volume de

Oxygène.	2080
Azote.	7922
	1,0002 (1)

Ainsi le rapport de l'oxygène et de l'azote dans l'air ne serait pas exprimé par des nombres simples en volume ; mais il paraît que ce rapport est invariable à un millième près, sous des latitudes éloignées, à des époques distinctes et à des hauteurs très différentes.

M. Boussingault (2) a constaté en outre que le rapport de l'acide carbonique contenu à Andilly (Seine-et-Oise) et à Paris était :: 94 : 100.

M. Lewy (3) semble avoir obtenu, sur la constance de la quantité d'oxygène dans l'air atmosphérique, des résultats différents de ceux que nous venons de rapporter. Après avoir analysé l'air d'un grand nombre de points pris sur la terre ferme, sur les îles et en pleine mer, il conclut que la proportion de l'oxygène peut varier, et que si ces variations sont peu sensibles ou même incertaines lorsqu'il s'agit d'air recueilli sur les continents, elles sont plus prononcées et incontestables pour l'air recueilli en pleine mer. Enfin, M. Ladame

(1) Dans les *Comptes rendus* on a écrit 2081 d'oxygène,
7919 d'azote,
1,0000

(2) *Compt. rend.*, vol. XIII, p. 473. 1841. — Voyez aussi *ib.*, vol. I, p. 36. 1835.

(3) *Ibid.*, vol. XVII, p. 235. 1843.

Digitized by Google

a lu à la séance d'ouverture des cours de l'Académie de Neuchâtel un *Essai sur la composition et la constitution de l'atmosphère* (1).

APPENDICE.

De la température et des climats actuels par rapport aux périodes antérieures.

La difficulté de placer convenablement plus tard ce qui a été écrit sur les climats actuels, considérés relativement à ce qui a eu lieu, soit dans les temps historiques, soit dans les périodes géologiques en général, nous a déterminé à en traiter dès à présent et sous forme d'Appendice aux phénomènes de thermologie et de météorologie dont nous venons de nous occuper. Ce sera, en quelque sorte, une excursion momentanée dans le domaine de l'histoire.

M. Arago (2) a démontré, d'une manière aussi simple qu'ingénieuse, que la température moyenne de la Palestine ne paraissait pas avoir changé sensiblement depuis le temps de Moïse, c'est-à-dire depuis 3300 ans. Il a fait voir aussi que pour que la vigne pût être cultivée avec succès, et pour que, dans le même pays, le fruit du dattier vînt à mûrir et à être mangeable, ainsi que cela avait lieu en Palestine, la température moyenne devait se trouver entre 21 et 22°, ce qui est encore en effet la température moyenne de Jérusalem.

M. Arago énumère ensuite une longue série d'hivers remarquables par leur basse température, qui prouvent que notre climat n'est pas devenu plus rigoureux, et que d'autres parties de l'Europe n'étaient ni plus froides ni plus chaudes qu'elles ne le sont aujourd'hui. Le climat de Rome en particulier était sensiblement le même; mais ce qui est digne de remarque, c'est que, comme le prouvent les observations thermométriques faites à la fin du XVI^e siècle et qui ont pu être ramenées aux graduations actuelles, le déboisement des montagnes opéré depuis environ soixante ans n'a produit, en Toscane, contre l'opinion générale, aucune diminution appréciable de température : il y a plus; c'est que, comme le fait voir M. Arago, d'après les recherches de M. Libri, la Toscane aurait aujourd'hui

(1) In-8. Neuchâtel, 1843.
(2) *Annuaire du Bureau des longitudes pour* 1834. Paris, 1833. p. 204.

Digitized by Google

des hivers moins froids et des étés moins chauds qu'il y a trois cents ans.

Le savant astronome, après avoir examiné la question relativement à certaines provinces de France, déduit de considérations agronomiques ou vinicoles qu'au XVI[e] siècle, par 45° de latitude, et sur les bords du Rhône, les étés devaient être plus chauds qu'ils ne le sont actuellement; mais quant aux conclusions tirées de l'ancienne culture de la vigne dans des provinces de France où l'on a cessé de faire du vin, il démontre que ce changement de produit du sol ne résulte pas d'une modification dans les causes physiques extérieures dues à la température, mais provient au contraire des travaux exécutés par les hommes, tels que les déboisements, les défrichements, les desséchements, etc., qui, ainsi qu'on l'observe aujourd'hui dans l'Amérique du Nord, où ils s'exécutent partout, semblent avoir amené des hivers moins rudes et des étés moins chauds. Nous ajouterons que l'extension et les progrès de l'agriculture ayant fait reconnaître dans le nord-ouest de la France qu'il y avait plus d'avantage à cultiver des céréales, des graines oléagineuses, des fourrages et des racines, concurremment avec les pommiers, que la vigne qui n'y donnait d'ailleurs que des produits médiocres et sans valeur, cette dernière a dû graduellement disparaître pour se concentrer sur les parties du sol où elle pouvait donner des bénéfices réels.

Quant aux observations plus récentes, celles que l'on a faites depuis un demi-siècle, par exemple, elles sembleraient plutôt prouver une légère élévation dans la température moyenne qu'un abaissement.

M. J. M'Sweeny, dans son *Essai sur les climats de l'Irlande* (1), après avoir cité les divers auteurs qui se sont occupés de la température de la terre depuis les temps historiques, et en particulier M. Schouw, de Copenhague (2), pense aussi qu'il n'y a pas eu de changement général réel dans cette température, et que les très petites différences que l'on a observées peuvent être attribuées à l'influence des travaux de l'homme sur les produits du sol.

M. Fuster a publié des *Observations sur les changements dans le climat de la France; histoire de ses révolutions météorologiques*; mais les conséquences que l'auteur a déduites de ses recherches

(1) *Transac. roy. irish Acad.*, vol. XVIII.
(2) Brewster's, *Edinb. Journ. of science*, vol. VIII.

Digitized by Google

paraissent ou peu exactes, ou fort exagérées. Elles ont d'ailleurs été combattues à plusieurs reprises par M. Dureau de La Malle (1).

M. Marcel de Serres, dans plusieurs articles intitulés : *De la stabilité des phénomènes terrestres* (2), a également traité de la température, de la quantité des pluies annuelles, de l'invariabilité des sources, et d'autres circonstances qui, dans leurs modifications, entraînent aussi des changements correspondants parmi les végétaux et les animaux, et il a fait voir que depuis les temps anciens il ne s'était produit aucun changement appréciable dans le Languedoc.

M. de Rougemont a communiqué à la Société d'histoire naturelle de Neuchâtel un *Mémoire sur les grands changements qu'a dû subir la surface de la terre, à trois époques distinctes, pendant la période actuelle* (3) ; mais on peut regretter que dans ce travail l'auteur n'ait pas donné de preuves suffisantes des nombreuses assertions qu'il a émises.

Si pour un moment nous remontons aux temps anté-historiques, nous trouverons quelques recherches intéressantes, dues à M. Élie de Beaumont, sur les modifications probables de la température et de l'atmosphère à diverses époques. A la suite d'une communication de M. Deshayes sur la température du bassin de Paris lors du dépôt du calcaire grossier, température que ce savant évaluait à 27° 1/2, d'après des considérations paléontologiques, M. Élie de Beaumont (4) s'est attaché à démontrer que la moyenne de 27° 1/2, qui serait au moins équatoriale, ne se trouvait pas confirmée par la disparition, à cette époque, des fougères arborescentes, des cycadées, et par celle des récifs de madrépores, tandis que l'existence de Palmiers, de Crocodiles et de pachydermes annonçait, au contraire, une température très voisine de celle de l'Egypte actuelle, c'est-à-dire de 22°.

On sait qu'il y a un rapport constant entre la température propre de la terre à sa surface et l'augmentation graduelle de la température des lieux profonds. La première est de $\frac{1}{32}$ de degré, la seconde $\frac{1}{30}$ de degré par mètre. A l'époque de la formation houillère, l'aug-

(1) *Compt. rend.*, vol. XXII, p. 865 et suiv. 1846.
(2) *L'Écho*, 17, 20 et 27 février, 3 et 6 mars 1842.
(3) *Bull. de la Soc. d'hist. nat. de Neuchâtel*, p. 44-93. 1843.
(4) *Soc. philomatique de Paris*, 28 mai 1836. — *L'Institut*, id.

Digitized by Google

mentation de la température, par mètre de profondeur, pouvait être, par exemple, de $\frac{1}{3}$ de degré, et si l'excès de la température de la surface ne dépassait pas $\frac{1}{2}$ de degré, cette quantité serait trop petite pour rendre compte directement de la différence des climats actuels; aussi le savant géologue que nous venons de citer attribue-t-il cette différence à des effets accessoires que pouvait entraîner une augmentation de la température des lieux profonds plus rapide alors qu'aujourd'hui : c'était d'abord l'absence des glaces polaires dans les périodes géologiques anciennes, puis la température moins basse et moins inégale des eaux de la mer. Celle-ci devait se couvrir de brouillards dans les parties voisines du pôle, du moment où le soleil s'éloignait de l'horizon. Enfin, lorsque la température intérieure croissait dix fois plus vite qu'aujourd'hui, la plupart des sources étaient thermales, et dès que le soleil s'éloignait de l'horizon du pôle, le sol devait aussi se couvrir de brouillards qui détruisant le rayonnement nocturne et le rayonnement hivernal, tempérait encore le froid des nuits et des hivers sans rien changer à la chaleur des étés; de sorte que la température moyenne de l'année était alors plus uniforme et plus équatoriale. Ces circonstances jointes à l'action des mers plus chaudes produisaient aux pôles une *anomalie positive*, diamétralement opposée à l'anomalie *négative actuelle*, par suite de la permanence des glaces.

A l'appui des considérations précédentes, M. de Beaumont (1) a cherché la relation qui existe entre l'épaisseur que les glaces perpétuelles peuvent acquérir dans un lieu donné et l'accroissement de température des lieux profonds. Il établit d'abord que si l'action du soleil agissait seule sur la température de la surface, et que cette action ne suffît pas, jointe à celle de l'atmosphère, pour faire disparaître toute la neige qui tombe annuellement, la couche de glace résultant de cette neige s'accroîtrait presque indéfiniment. Puis il remarque que l'accroissement de $\frac{1}{30}$ de degré par mètre de profondeur n'est pas le même sur toutes les verticales, et que l'on connaît la quantité de chaleur émise par la surface pendant une année pour fondre une épaisseur de glace déterminée, de même que le petit excès dû à la chaleur intérieure et qui diminue encore d'une certaine quantité lorsque la surface est couverte de glace. Enfin il arrive, par l'application de diverses formules, à trouver que les glaces permanentes qui couvrent une partie du globe peuvent servir

(1) *Soc. philomatique de Paris*, 11 juin 1836. — *L'Institut*, id.

Digitized by Google

à apprécier la température moyenne des couches terrestres, ou encore pour vérifier l'extrême lenteur du refroidissement séculaire de la masse interne de la terre. Si la variation de la quantié de chaleur qui émane de la terre n'était pas extrêmement lente, il en résulterait un accroissement très rapide dans la masse des glaces permanentes qui modifieraient bientôt les climats, ce qui n'a point eu lieu, au moins depuis les temps historiques, comme nous l'avons dit ci-dessus.

Plus tard M. de Beaumont (1) s'est occupé non plus seulement de la température de l'air aux époques géologiques, mais de sa composition probable. Il a rappelé d'abord les expériences de de Saussure et cette conséquence qu'en a tirée Fourier, que la température actuelle de la terre paraît dépendre du rôle que joue l'atmosphère comme enveloppe diathermane. Or, si l'on suppose, continue-t-il, cette atmosphère plus épaisse dans les périodes anciennes, son influence réchauffante aura été plus considérable et la température plus élevée. Cette hypothèse n'a d'ailleurs rien que de probable; ainsi, à l'époque de la houille, la pression barométrique a pu être d'un mètre. Tout en admettant que la proportion d'azote fût la même qu'aujourd'hui, la quantité d'acide carbonique pouvait se trouver plus considérable, comme l'a pensé M. Ad. Brongniart; l'oxygène aurait été aussi plus abondant, à cause de la masse des substances qui se sont oxydées depuis; enfin, lorsque les glaces polaires n'existaient pas, la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère était beaucoup plus grande. Ainsi l'action diathermane de l'atmosphère a dû être un auxiliaire puissant pour les autres causes qui tendaient à rendre la température de la surface plus élevée qu'aujourd'hui.

L'année précédente, M. Johnston, dans un *Mémoire sur la constitution de l'atmosphère dans l'époque géologique ancienne* (2), avait également admis que l'atmosphère avait dû être plus pesante et plus étendue qu'aujourd'hui, et qu'elle renfermait une plus grande quantité absolue d'oxygène, laquelle a diminué graduellement par l'oxydation des substances. Cette action se continue encore dans lesp rofondeurs du sol, au moyen de l'oxygène soutiré à l'atmosphère .

(1) *Soc. philomatique de Paris*, 21 juillet 1838.— *L'Institut*, id.
(2) *Soc. roy. d'Edimbourg*, 3 avril 1837. — *Edinb. new phil. Journ.*, vol. XVI, p. 217. 1838. — *L'Institut*, 18 octobre 1838.

Digitized by Google

M. H. Spencer (1), partant des idées de M. Dumas sur la relation qui existe entre les plantes et les animaux, a considéré le rapport de la consommation de l'oxygène d'une part et le degré de vitalité ou le haut point d'organisation de l'autre, et il a été amené à penser qu'il existe une certaine connexion entre les modifications supposées de l'atmosphère et l'accroissement d'intensité de la vie, ainsi que la supériorité d'organisation qui l'accompagne. Les animaux supérieurs se distinguent des inférieurs par un sang chaud; et l'augmentation de la température propre des diverses classes d'animaux est le résultat direct de la consommation d'une plus grande quantité d'oxygène. On peut donc admettre, dit M. Spencer, qu'il y a une corrélation nécessaire entre le développement des êtres organisés et les modifications de l'atmosphère. Cette manière de voir s'accorderait ainsi avec les opinions précédentes, dans lesquelles la question avait été considérée particulièrement au point de vue physique, et avec ce que nous avons dit nous-même au commencement de ce chapitre.

(1) *Remarks upon theory*, etc. Remarques sur la théorie de la dépendance réciproque des créations animales et végétales, relativement à la paléontologie (*Lond. and Edinb. philos. Magaz.*, vol. XXIV, p. 90. 1844. — Voyez aussi : Lecoq, *Des climats solaires et des causes atmosphériques en géologie*, etc. *Bull.*, 2e série, vol. III, p. 290. 1846.— Rivière, *objections à ce sujet*, *ib.* p. 400.

Digitized by Google

Digitized by Go

CHAPITRE IV.

§ 1. Du magnétisme terrestre.

Soit que les effets du magnétisme terrestre se rattachent à l'origine et à l'état propre du globe, soit qu'ils se lient, au contraire, plus intimement aux phénomènes extérieurs résultant de la température et de l'action solaire, ou bien encore de courants électriques superficiels, comme les belles expériences de M. Barlow portent à le penser, ils ont trop de rapports avec ce que nous entendons par la *physique du globe* pour ne pas être mentionnés dans notre travail, ne fût-ce que d'une manière sommaire, d'autant plus que quelques personnes ont invoqué les forces magnétiques pour expliquer certains faits géologiques. Notre tâche d'ailleurs sera très simplifiée par l'excellent ouvrage de M. Becquerel, qui a réuni dans le VII^e et dernier volume de son *Traité expérimental de l'électricité* (1) tout ce qui se rapporte au magnétisme terrestre proprement dit. Nous ne pouvons donc qu'y renvoyer le lecteur, qui y trouvera non seulement une exposition claire et une discussion impartiale de tous les faits, mais encore un résumé complet des idées principales et des théories auxquelles ces faits ont donné lieu.

M. J. D. Forbes a publié une *Relation de quelques expériences faites dans diverses parties de l'Europe sur l'intensité du magnétisme terrestre, particulièrement dans son rapport avec les effets de l'altitude des lieux* (2). Après y avoir décrit l'appareil de Hansteen, propre à déterminer l'intensité magnétique, puis les méthodes d'observation et de correction, il fait voir que les variations dans l'intensité des phénomènes magnétiques sont de trois sortes : les unes séculaires, dues à des changements progressifs d'année en année ; les secondes périodiques, se manifestant dans diverses saisons et à diverses heures du jour ; les dernières enfin, accidentelles

(1) *Traité expérimental de l'électricité et du magnétisme*, vol. VII. Paris. 1840.

(2) *Transac. roy. Soc. of Edinburgh*, vol. XIV, p. 1. 1836.

Digitized by Google

et produites par des aurores boréales ou des causes inconnues. Quant aux lois numériques de ces trois sources de variations, elles n'ont pas encore pu être déterminées.

M. Forbes a rapporté les observations directes faites sur l'intensité magnétique de la déclinaison dans les Alpes, dans les Pyrénées et dans d'autres parties de l'Europe, et s'est occupé de la direction des lignes isodynamiques ainsi que de l'influence de l'élévation. Cette direction paraît d'ailleurs s'accorder avec l'opinion déjà émise par M. Necker, qu'il existait un parallélisme général entre les lignes de soulèvement géologique et celles des intensités magnétiques.

Contrairement à ce que M. Gay-Lussac avait conclu lors de son ascension, que la hauteur n'influait pas sur l'intensité de la force magnétique, le savant physicien écossais établit qu'à 3,000 pieds d'élévation la variation est de 0,001, et qu'à la hauteur où M. Gay-Lussac s'est élevé le changement d'intensité pouvait être presque 0,008 de la totalité; mais, ajoute-t-il, la variation dans le temps d'une oscillation serait seulement de la moitié.

Passant ensuite aux phénomènes de l'inclinaison, il prouve que les lignes d'égale intensité totale sont déduites des lignes projetées d'égale intensité horizontale et d'égale inclinaison. Les lignes d'égale inclinaison semblent d'ailleurs se rapprocher davantage des parallèles de latitude que les lignes d'égale intensité horizontale. A Genève l'inclinaison corrigée serait 65° 1',6", et elle s'accroîtrait de 10' pour une augmentation de 18',4" de latitude. M. Forbes a joint en outre à son mémoire une carte des Alpes centrales, indiquant la direction des lignes d'égale intensité magnétique horizontale et d'égale inclinaison. L'année suivante il a aussi publié quelques expériences additionnelles faites en 1837 sur le magnétisme terrestre de divers points de l'Europe (1).

MM. Laugier et Mauvais (2) ont constaté, comme M. Forbes, par des expériences très précises, que l'intensité magnétique subit une diminution notable ($\frac{12}{1000}$) pour une différence de hauteur de 2,133 mètres, du Vernet au sommet du Canigou, dans les Pyrénées orientales. MM. A. Bravais et Ch. Martins (3), dans leur ascension au Mont-Blanc au mois d'août 1844, ont également reconnu la di-

(1) *Transac. roy. Soc. of Edinburgh*, vol. XV, p. 27.

(2) *Compt. rend.*, vol. XVI, p. 1175. 1843.

(3) Rapports adressés à M. Villemain (extr. de la *Revue scient. industrielle*. 1845).

Digitized by Google

minution de l'intensité magnétique horizontale. Cependant M. Bravais, qui a repris cette question dans un travail spécial (1), n'a trouvé pour cette diminution qu'une valeur extrêmement faible ($\frac{9}{1000000}$), qui se trouve comprise dans les limites des erreurs possibles. Ce savant physicien, qui a également discuté les observations faites à Thun, au Faulhorn et à Brienz, a obtenu un décroissement beaucoup plus rapide ($\frac{9}{100000}$); aussi regarde-t-il comme peu prudent de conclure de pareilles données la valeur du décroissement de l'intensité horizontale. Après avoir rappelé les évaluations de M. J. Forbes et celles de MM. Laugier et Mauvais, « il semble » résulter de cette discussion, dit M. Bravais, que le décroissement » serait beaucoup plus rapide dans les Pyrénées que dans les Alpes. » Ce résultat n'a rien d'improbable *à priori*. On sait que la dimi- » nution de la pesanteur terrestre avec l'élévation dépend de la » densité du sol sous-jacent, et peut varier sur les différentes chaînes » de montagnes; il serait donc peu étonnant que le décroissement » de l'intensité magnétique avec la hauteur fût un élément physique » beaucoup plus local qu'on n'a pu l'admettre jusqu'ici. »

Quant à l'intensité à la surface du globe, on sait qu'elle s'accroît en allant de l'équateur vers les pôles. Jusqu'à présent le maximum d'intensité observé est de 2,052, et le minimum de 0,706. Ces deux points appartiennent à l'hémisphère austral. Le premier, situé près du Mont-Crozier, à l'O.-N.-O. du pôle magnétique Sud, par 73° 47′ lat. S. et 169° 30′ long. O., a été observé par le capitaine J. Ross; et le second a été reconnu par M. Erman par 19° 59′ de lat. S. et 37° 24′ long. O., à 80 milles à l'E. de la côte de la province brésilienne de Espiritu-Santo. Ainsi ce n'est point à l'équateur que la force magnétique atteint réellement son minimum d'intensité (2).

M. Houzeau (3) a déduit de ses observations dans les houillères de Flénu que, pour 100 mètres de profondeur, il y a pour l'intensité horizontale une augmentation de 0,00363, et qu'il faut seulement 27^{m},6 d'enfoncement pour un accroissement de 0,001 dans

(1) *Observations de l'intensité du magnétisme terrestre en France, en Suisse et en Savoie* (*Ann. de chim. et de phys.*, 2^{e} sér. vol. XVIII. 1846).

(2) Sabine, *Contrib. terrestr. magnét.* 1843, n° 5, p. 231. — Erman, *Observ. phys.* 1841. p. 570.

(3) *L'Institut*, 16 avril, 1845. p. 146.

cette intensité. On sait que M. Kupffer avait trouvé une diminution de 0,001 pour 300 mètres d'altitude.

Dans une lettre de M. Bache, *sur l'équateur magnétique déduit d'observations faites de* 1817 *à* 1830 (1), on trouve que la courbe tracée coupe le méridien terrestre de 10 en 10° de longitude par les latitudes qu'il indique, d'où il résulte que le plan moyen de l'équateur magnétique passe environ 9 milles au N. du centre de la terre, et coupe l'équateur terrestre sous un angle moyen de 10° 45′ 45″, détermination différant d'ailleurs très peu de celle qu'avait trouvée M. Duperrey en 1827.

Nous ne nous arrêterons point aux idées assez hypothétiques de M. J. Hamilton (2), qui, faisant coïncider les pôles de froid avec les pôles magnétiques, regarde le calorique, le magnétisme et la lumière comme les diverses manifestations d'un composé unique, et qui base sa théorie sur la propriété que l'on a attribuée aux rayons violets d'aimanter le fer, et sur ce que l'aimant perd ses caractères à la chaleur blanche, tandis qu'à la chaleur rouge seulement les pôles sont renversés.

MM. Lloyd et Sabine, qui avaient été chargés de faire des recherches sur l'intensité des forces magnétiques dans les îles Britanniques, ont consigné leurs observations dans les *Rapports de l'Association britannique* de 1831 et 1836. En 1838 le major Sabine a présenté en outre à la même Association de nouvelles cartes des lignes isodynamiques.

M. Duperrey, à qui l'on doit les résultats les plus précis et les plus complets que l'on ait encore obtenus, soit directement, soit par le calcul, sur cette partie de la physique du globe, a donné *sur la position des pôles magnétiques de la terre* (3) une notice qui résume parfaitement l'état de la science à la fin de 1841, et à laquelle nous empruntons ce qui suit.

En 1836 M. Duperrey avait publié des cartes où les pôles magnétiques ont une position dépendante de la configuration des méridiens magnétiques, qui y sont aussi représentés, non par le prolongement indéfini du grand cercle qui passerait par la direction horizontale de l'aiguille aimantée, mais par une courbe dont la

(1) *Bull. de l'Acad. de Bruxelles*, vol. V, p. 558. 1838.
(2) *Amer. Journ.*, vol. XXXVII, p. 100. 1839.
(3) *Compt. rend.*, vol. XIII, p. 1104, 1841. — *Bull. de la Soc. de géogr.*, vol. XVI, p. 314, 1841.

Digitized by Google

condition est d'être, d'un pôle magnétique à l'autre, ou dans toute son étendue, le méridien magnétique de tous les lieux où elle passe. Ces pôles, qu'il ne faut pas confondre avec les centres d'action intérieure, qui sont les vrais pôles de la terre, sont situés, l'un au nord de l'Amérique septentrionale, par 70° 10′ lat. N. et 100° 40′ long. O.; l'autre au sud de la Nouvelle-Hollande, par 76° 0′ lat. S. et 135° 0′ long. E. Cette dernière position modifiée est fixée à 75° 0′ lat. S. et 136° 0′ long. E. (1).

Le capitaine Ross a confirmé, en 1832, la position du pôle boréal sur la terre de Boothia-Felix, à une distance de 30 milles seulement dans l'E. de la position indiquée par le calcul. L'inclinaison s'est trouvée de 90° par 70° 5′ lat. N. et 99° 12′ long. O.

La position du pôle magnétique austral a été déduite des observations faites pendant les expéditions scientifiques de MM. Dumont-d'Urville, Wilkes et J. Ross, mais surtout du voyage de *l'Astrolabe*; il se trouverait placé à 75° 20′ lat. S. et 130° 10′ long. E., position qui s'accorde en latitude, et qui ne diffère que de 80 milles de l'E. à l'O. de celle que M. Duperrey avait déduite de la configuration de tous les méridiens magnétiques. Les anomalies qui affectent la configuration des lignes d'égale intensité, et, par suite, celles d'égale inclinaison et du méridien magnétique, sont dues principalement aux irrégularités que présentent les températures à la surface des mers et des continents.

« Dans la région glaciale de l'hémisphère Nord, dit M. Duperrey, » un froid excessif règne dans la direction du pôle magnétique au » pôle terrestre, et de ce dernier vers le milieu de la côte septen- » trionale de la Sibérie. Cet abaissement de température, ainsi pro- » longé, augmente l'intensité du magnétisme, et repousse par consé- » quent vers la Sibérie les lignes d'égale intensité, qui entraînent, » sans néanmoins coïncider avec elles, les lignes d'égale inclinaison, » dont la figure se trouve, par ce fait, considérablement altérée. Les » méridiens magnétiques qui, en l'absence de causes d'anomalies, » seraient rigoureusement perpendiculaires à ces lignes, ayant une » tendance à conserver cette propriété, se rapprochent, outre me- » sure, les uns des autres dès le milieu de la Sibérie, et se dirigent

(1) Voyez aussi, pour la position de l'équateur et des pôles magnétiques, *Essai d'une carte géologique du globe terrestre*, par M. A. Boué et publié en 1844 par la Société géologique de France.

Digitized by Google

» ainsi vers le pôle magnétique, en passant sur les îles Melville
» et Byam-Martin, où l'inclinaison est, en effet, beaucoup plus
» grande que ne le comporte la distance qui sépare ces îles du
» pôle magnétique.

» Si actuellement, continue M. Duperrey, nous portons notre
» attention dans l'hémisphère Sud, nous verrons également les méri-
» diens magnétiques se presser les uns contre les autres partout où
» de vastes courants d'eau froide abaissent la température d'une
» manière sensible. C'est ainsi, en effet, que se présentent ceux de
» ces méridiens qui passent dans les parages de l'île de Kerguelen,
» où il existe un courant polaire, qui prend probablement son ori-
» gine entre la terre d'Enderby et les nouvelles terres antarctiques,
» et c'est ainsi enfin que se présentent les méridiens magnétiques
» qui, de la terre Victoria, où le capitaine Ross a fait ses observa-
» tions, traversent ce vaste courant, qui porte des eaux froides
» sur les côtes du Pérou, et dont j'ai, le premier, fait connaître
» l'origine et l'étendue, dans une carte publiée en 1831. »

M. Lloyd (1) pense que les oscillations magnétiques considérables sont synchroniques dans les points les plus éloignés, fait qui paraît être beaucoup plus prononcé dans les changements de l'intensité de la déclinaison que dans ceux de l'inclinaison. Si cette observation vient à être confirmée, on pourra en conclure que les forces perturbatrices de l'équilibre magnétique du globe ne sont pas le résultat de causes locales. L'auteur ajoute qu'à des stations très éloignées l'ordre des changements n'est pas régi par les mêmes lois. Ainsi les courbes qui les représentent n'offrent point partout la similitude qu'elles affectent en Europe, et les époques de *maxima* et de *minima* ne s'accordent point. Enfin les courbes d'intensité horizontale, à des points rapprochés, s'accordent mieux que celles de la déclinaison, d'où l'on peut inférer que la connaissance de la nature et des lois des causes perturbatrices pourra être obtenue plutôt par l'étude des changements d'intensité, comprenant d'ordinaire ceux de l'intensité verticale, que de ceux qui dépendent seulement de la direction des forces agissantes.

Si des généralités nous passons aux observations faites dans divers pays, nous trouverons d'abord le tableau présenté par M. Quetelet,

(1) *Rep. 11th Meet. brit. Assoc. at Plymouth*, 1841 (Londres, 1842). — *Amer. Journ.*, vol. XLII, p. 156, 1842.

Digitized by Google

des variations de l'aiguille aimantée, à Bruxelles, de 1827 à 1839 (1). La déclinaison, qui était de 22° 28′ 8″ en 1827, a diminué d'année en année jusqu'au 27 mars 1839, où elle était à 21° 53′ 6″. L'inclinaison a varié, en diminuant successivement, de 68° 56′ 5″ à 68° 22′ 4″.

A Paris (2), du 21 mai 1827 au 10 octobre 1836, elle a diminué de 67° 51′ 7″ à 67° 25′ 2″; mais il y a eu des oscillations intermédiaires qui l'ont amenée au-dessous de ce dernier chiffre. Ainsi, le 17 juillet 1834, elle était à 67° 19′ 1″, puis à 67° 20′ 6″ le 3 du même mois, à 67° 22′ 3″ le 28, et à 67° 20′ 7″ le 9 septembre.

Comme résultats généraux déduits des observations antérieures, la diminution annuelle de l'inclinaison magnétique a été, pour Milan, 3′ 87″; Saint-Pétersbourg, 3′ 8″; Paris, 3′ 7″; Berlin, 3′ 7″; Christiania, 3′ 56″; Turin, 3′ 5″; Bruxelles, 3′ 4″; Florence, 3′ 3″; Stockholm, 3′ 13″; Gœttingue, 3′ 05″; Londres, 2′ 4″; Dublin, 2′ 3″; Upsal, 2′ 27″. Cette diminution s'est continuée en 1840, la déclinaison à Bruxelles étant 21° 50′ et l'inclinaison 68° 21′ 4″ (3). De 1840 à 1841, la déclinaison a encore diminué, à Bruxelles, de 21° 40′ 58″ à 20° 38′ 16″. Le 28 mars 1842, l'inclinaison était 68° 15′ 2″ et 68° 15′ 4″ pour deux séries d'observations (4).

M. Aimé (5) a donné un mémoire fort étendu sur les observations qu'il a faites à Alger pendant dix-neuf mois consécutifs. Il y indique les résultats généraux qui permettent d'apprécier les forces magnétiques telles qu'elles existent sur le littoral du nord de l'Afrique, et admet que les variations diurnes de la déclinaison peuvent être généralement considérées comme la conséquence des changements de température du jour et de la nuit.

M. de Humboldt (6) a publié des remarques servant d'éclaircissement au tableau d'inclinaisons magnétiques observées en 1829 dans le nord-est de l'Asie et sur les bords de la mer Caspienne. La plupart des observations avaient d'ailleurs été données lors de son retour (7).

Aux États Unis M. E. Loomis a fait des recherches *sur les va-*

(1) *Bull. de l'Acad. de Bruxelles*, vol. VI, p. 268. 1839.
(2) *Ibid.*, p. 473.
(3) *Ibid.*, vol. VII, p. 196.
(4) *Nouv. mém. de l'Acad. de Bruxelles*, vol. XV. 1842.
(5) *Compt. rend.*, vol. XVII, p. 1031. 1843.
(6) *Asie centrale*, vol. III, p. 440.
(7) *Bull. Soc. imp. des nat. de Moscou*, n° 10. 1829.

Digitized by Google

riations et l'inclinaison de l'aiguille aimantée (1). Après avoir comparé toutes les observations magnétiques faites à diverses époques dans l'étendue des États-Unis jusqu'à l'année 1838, l'auteur conclut que, depuis les plus anciennes de ces observations jusqu'au commencement du XIX[e] siècle, la variation occidentale était décroissante et la variation orientale croissante; que plus récemment l'inverse a eu lieu, et qu'un mouvement rétrograde de l'aiguille a commencé. Quoique l'année précise de ce changement ne soit pas encore rigoureusement déterminée, les divers renseignements tendent à le placer au commencement de 1819. Cependant à Philadelphie et à Newburn (Caroline du Nord) les observations indiquent 1793. Le mouvement annuel serait d'ailleurs beaucoup plus grand dans les États de l'Est que dans ceux du Sud et du Nord.

Aujourd'hui, d'après M. Loomis, la variation occidentale s'accroîtrait et la variation orientale diminuerait dans tous les États-Unis. Ce changement aurait commencé entre 1793 et 1819, probablement à diverses époques, dans des lieux différents. Le changement annuel actuel est d'environ 2′ dans les États du Sud et de l'Ouest, de 3′ à 4′ dans ceux du milieu, et de 5′ à 7′ dans la Nouvelle-Angleterre.

Par suite de nouvelles observations (2) qui sont venues confirmer ces résultats, l'auteur a reconnu que les anomalies qu'il avait signalées provenaient d'erreurs. Le mouvement rétrograde aurait commencé généralement en 1819, et dans un très petit nombre de localités il se serait peut-être manifesté dès 1793. Actuellement le mouvement annuel de l'aiguille est de 2′ dans les États du Sud, 4′ pour ceux du Centre et de l'Ouest, et 6′ pour la Nouvelle-Angleterre.

La diminution de l'inclinaison de 1819 à 1839 paraît être de 30′ ou de 1′,5 par année; d'un autre côté, plusieurs observateurs étant arrivés à trouver 2′,1, la moyenne 1′,8 serait la diminution annuelle de l'inclinaison aux États-Unis. Enfin, M. Loomis a continué ses recherches et en a donné depuis les résultats (3).

Dans sa *Description physique de la Nouvelle-Galles du Sud et de la terre de Van-Diemen* (4), M. de Strzelecki a présenté un ta-

(1) *Amer. Journ.*, vol. XXXIV, p. 290. 1838.
(2) *Ibid.*, vol. XXX, p. 41. 1840.
(3) *Ibid.*, vol. XLIII, p. 93. 1842.
(4) In-8. Londres. 1845, p. 50.

Digitized by Google

bleau des variations de la déclinaison de l'aiguille aimantée dans ces deux colonies. Ces observations pourront être ajoutées utilement à celles qui depuis la fin de 1840 sont faites à l'observatoire magnétique d'Hobart-Town.

§ 2. Hypothèses géologico-magnétiques.

Quelques personnes, ainsi que l'on pouvait s'y attendre, malgré l'incertitude qui règne encore sur l'origine première des phénomènes magnétiques, ou peut-être à cause de cette incertitude même, ont cherché à les relier aux phénomènes géologiques et à l'histoire des révolutions de la terre; il est douteux qu'une semblable direction donnée aux études puisse conduire à des résultats fort utiles pour la science. Cependant nous croyons devoir indiquer quelques unes des opinions que ce mode de considération a fait naître.

Dans un article du journal américain de MM. Silliman (1), l'auteur a admis l'existence probable, à l'intérieur du globe, d'une série d'immenses batteries galvaniques produisant les phénomènes électriques et magnétiques. Cette action qui s'étend avec des intensités variables du S. au N., et qui prouve l'accumulation des forces dans cette même direction, a pu, à une époque donnée, par le développement subit de ses éléments soulever par exemple la masse énorme des montagnes du Chili et produire, d'un autre côté, des effets moins frappants et moins énergiques, tels que le mouvement graduel de la vallée du Mississipi.

Il est manifeste, dit l'auteur, que l'accumulation des forces magnétiques a lieu suivant le méridien magnétique où la déclinaison est nulle, et non pas directement sous le pôle magnétique; d'où il résulte que l'attraction a lieu vers cette ligne et non vers le pôle. Ainsi, en 1813, la déclinaison à la Nouvelle-Orléans était de 8° E., et à Philadelphie de 2° 27′; or, en supposant que les aiguilles fussent dirigées vers quelque point d'attraction, ce point devrait se trouver à l'intersection des deux directions prolongées, ce qui placerait le pôle magnétique beaucoup trop au S. Il résulte donc que la puissance attractive se trouve entre les deux places, et qu'elle agit comme l'attraction locale de l'aimant, en détournant l'aiguille de la direction du pôle.

(1) *Amer. Journ.*, vol. XXXI, p.290. 1837.

Digitized by Google

La direction actuelle de la ligne magnétique diffère à la vérité de celle des grandes chaînes de l'Amérique ; mais elle peut avoir été la même à une certaine époque, puisqu'au XVII[e] siècle, en moins de cinquante ans, sa direction a tellement varié que toute l'étendue de l'Atlantique se trouvait interposée entre sa position à la première et à la dernière observation. L'auteur convient, en terminant, que l'élévation de beaucoup de montagnes peut aussi résulter de causes locales, indépendamment de cette cause générale constante.

M. J. H. Lathrop s'est attaché à démontrer la *connexion qu'il a cru reconnaître entre la théorie de la terre et les variations séculaires de l'aiguille aimantée* (1). Le mouvement occidental graduel de la ligne sans déclinaison, comme le montrent les observations faites depuis deux ou trois siècles, a lieu dans une proportion telle, que, s'il est continu, cette ligne fera le tour entier de la terre dans un laps d'environ 700 ans, et les variations de l'inclinaison et de la déclinaison, à un point donné de la surface terrestre, seraient dues à une même cause physique, s'exécuteraient dans une même période.

M. Lathrop admet ensuite que la position de l'aiguille, librement suspendue par son centre de gravité, ou celle de la ligne magnétique, à un point donné, est le résultat de l'action de toutes les forces magnétiques dans la masse de la terre, quelle que soit d'ailleurs la nature de ces forces. Cette action combinée peut être regardée comme se décomposant en deux groupes de forces magnétiques, savoir, celles contenues dans la croûte solide de la terre et celles provenant de la masse fluide interne ; alors la déclinaison en un point donné sera la résultante de toutes les influences magnétiques de la croûte terrestre en ce point. L'aiguille, obéissant aussi aux influences magnétiques de la masse fluide, tendra à prendre la direction de la résultante de ces mêmes forces. Ainsi, la position actuelle de l'inclinaison de l'aiguille, ou l'angle qu'elle forme avec la verticale, suivra la diagonale de ces deux résultantes.

En adoptant comme vraie l'hypothèse que la masse fluide interne, relativement à la croûte extérieure, effectue une révolution à l'O. dans une période de 700 ans, les conséquences observées, relatives aux mouvements séculaires de l'aiguille, s'ensuivront naturellement d'après l'auteur, et, ajoute-t-il, les pôles magnétiques décriront ainsi une courbe rentrante dans une période égale à celle du

(1) *Amer. Journ.*, vol. XXXVIII, p. 68. 1840.

mouvement occidental supposé de la masse interne, et les mouvements séculaires de la déclinaison s'effectueront dans la même période. Si les pôles magnétiques de la croûte extérieure et de la masse fluide interne coïncidaient avec le pôle de révolution, la déclinaison et l'inclinaison ne s'écarteraient pas du plan du méridien; mais cette coïncidence n'ayant pas lieu, M. Lathrop essaie de démontrer comment le pôle magnétique peut être déterminé au moyen des faits connus.

Ainsi, il pense que de la théorie de la terre la plus généralement adoptée et de son mode de refroidissement il résulte que le mouvement de la croûte solide autour de l'axe a été plus accéléré par le refroidissement et par la contraction de ses parties qui en est la conséquence, que celui de la masse fluide interne. Le mouvement angulaire de la première étant alors plus rapide que celui de la seconde, cette dernière devra graduellement demeurer en arrière; ou, en d'autres termes, l'écorce solide de la terre étant considérée comme fixe relativement à l'observateur, la masse interne fondue aura un mouvement graduel vers l'O. Le mouvement occidental de la masse fluide résultant de la théorie même de la terre, l'auteur conçoit que les mouvements séculaires de la déclinaison de l'aiguille seraient les conséquences de cette même révolution occidentale. Cette théorie rentrerait alors dans l'hypothèse de Halley, qui supposait que la terre avait quatre pôles magnétiques, deux fixes et deux mobiles. La résultante des forces magnétiques de la croûte solide indiquerait les deux pôles fixes, et les deux pôles mobiles de Halley seraient marqués par la résultante des forces magnétiques de la masse fluide interne.

Dans un second mémoire, M. Lathrop (1) fait voir que l'écorce terrestre étant composée de fragments juxtaposés et supportés par la masse fluide de l'intérieur, est susceptible d'obéir, dans certaines limites, aux pressions que peut exercer ce même fluide dans telle ou telle direction; et il applique la théorie de ces mouvements à l'explication du phénomène des marées océaniques, celle de Newton lui paraissant insuffisante. Puis il revient à la polarité magnétique, et fait remarquer que si la ligne magnétique, à un point donné, est la résultante de toutes les influences magnétiques dans l'intérieur de la terre, quelle que soit la cause qui affecte la figure de celle-ci,

(1) *Application de la théorie ignée de la terre* (*Amer. Journ.*, vol. XXXIX, p. 90. 1840)

Digitized by Google

elle pourra influencer la position de la ligne magnétique, et les causes des oscillations subordonnées, quelle qu'en puisse être la nature, seront certainement aussi en connexion avec les mouvements diurne et annuel de la terre.

En admettant l'existence de marées intérieures, on peut supposer que la distribution des influences magnétiques est assez affectée par ces marées pour communiquer à l'aiguille une irrégularité sensible, dont la période pourra être un jour lunaire, et dont la quantité variera mensuellement et annuellement, suivant les positions relatives différentes de la lune, du soleil et de la terre. Il serait donc important, dit en terminant M. Lathrop, de s'assurer, par des observations très précises, si les moindres oscillations de la ligne magnétique sont ou non connexes, jusqu'à un certain point, avec les mouvements de la lune.

On voit, d'après ce que nous venons de dire, que le raisonnement de l'auteur repose sur plusieurs hypothèses assez contestables, entre autres celles des marées intérieures déterminées par les attractions du soleil et de la lune, et le retard du noyau fluide sur celui de l'écorce solide pendant le mouvement de rotation; questions qui ont été étudiées analytiquement par M. Hopkins, et résolues négativement.

Quant à l'origine même des forces magnétiques, nous ne pouvons que reproduire ici ce que dit à ce sujet l'illustre auteur du *Cosmos:* « Ainsi, dans l'état actuel de nos connaissances, il faut se résoudre » à ignorer les dernières causes physiques de ces phénomènes com» pliqués; si la science a fait réellement de grands progrès, c'est » dans une autre voie, c'est par la détermination numérique des » valeurs moyennes de tout ce qui peut être soumis à nos mesures » de temps et d'espace; c'est en dirigeant tous les efforts vers ce » qu'il y a de constant et de régulier au fond de ces apparences va» riables (1). »

Appendice bibliographique.

HUMPHREY LLOYD. — *An attempt to facilite*, etc. Essai pour faciliter les observations du magnétisme terrestre (*Transac. roy. irish Acad.*, vol. XVII, p. 159).

— *Further development*, etc. Nouveau développement d'une méthode d'observer en même temps l'inclinaison et l'in-

(1) Alex. de Humboldt, *Cosmos.*, trad. française, vol. I, p. 213

Digitized by Google

tensité magnétiques avec le même instrument (*Ibid.*, p. 149).

GAUSS. — *Resultats aus den beobachtungen*, etc. Résultats des observations de l'Union pour le magnétisme, in-8. Leipsick, 1839. — M. Gauss a exposé dans ce volume sa théorie générale du magnétisme.

LLOYD. — Voy. *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, vol. XIII, p. 725 et 827. 1843.

Ed. SABINE. — *Observations on days of unusual magnetic disturbance*. 1843.

— *Contributions to terrestrial Magnetism*, 1840-1843, avec carte des lignes isocliniques dans l'Océan Atlantique pour les années 1825 et 1837 (*Philos. transac. roy. Soc. of London*, pour 1842, part. I, p. 9).

— *Report on magnetic intensity*. 1838.

David BREWSTER. — *Treatise of Magnetism*. Édimbourg, 1837.

Ad. ERMAN. — *Ann. de Poggendorff*, vol. XXI, p. 129.

ARAGO. — *Annuaire du Bureau des longitudes pour* 1836, p. 282.

Gustave HERSCHEL. — Le refroidissement de la terre a-t-il eu lieu également ou inégalement dans divers points de l'écorce, et comment le magnétisme terrestre est-il en rapport avec l'origine et le développement successif du globe? (*Neu. Jahrb.* 1841, p. 446-449).

E. HOPKINS. — *On the connexion*, etc. Sur la connexion de la géologie avec le magnétisme terrestre, in-8. Londres, 1844. 24 pl.

LOCKE. — *Sur la connexion qui existe entre la géologie et le magnétisme* (*Amer. Journ.* 1844. — *London, Edinb. and Dublin, philos. Magaz.*, vol. XXVI, p. 539. 1845.

HANSTEEN. — *Sur l'intensité horizontale du magnétisme, influencée par de grandes masses de basalte* (*l'Écho*, n° 740).

P. CUNNINGHAM. — *On the general causes*, etc. Sur les causes générales et locales des variations magnétiques. Londres, 1841.

KAEMTZ. — *Cours complet de météorologie*, traduit en français par Ch. Martins, in-12. Paris, 1843, p. 446.

Alex. DE HUMBOLDT. — *Cosmos. Essai d'une description physique du globe*, t. I, trad. française par M. H. Faye, p. 203. Paris, 1846.

BECQUEREL. — Article *Magnétisme terrestre* (*Dictionnaire universel d'Histoire naturelle* publié sous la direction de Ch. d'Orbigny, t. VII, p. 569. 1846). Cet article présente le résumé le plus complet de l'état actuel de la science.

. . . . . . *Contribution to terrestrial Magnetism, n°* 7, etc. Documents sur le magnétisme terrestre, n° 7, contenant un relevé magnétique de l'Amérique du Nord, par M. Lefroy (*Philos. transac. roy. Soc. of London*, pour 1846, p. 237-261). Détail des observations, p. 261-336.

Id., n° 8, contenant le relevé des observations faites dans l'hémisphère Sud, entre 20 et 70° lat., et 0° et 135°

Digitized by Google

long. E., par M. Moore et M. Clerk (*Ibid.*, p. 337-440). — Présenté par M. Ed. Sabine. — 5 cartes.

J. A. Broun. — *Results of the Makerstoun observations, n° 1. On the relation*, etc. Sur la relation des variations de l'intensité horizontale du magnétisme terrestre avec les périodes solaire et lunaire, 2 pl. (*Transac. roy. Soc. of Edinburgh*, vol. XVI, p. 99. 1846). Le n° 2 paraîtra dans le vol. XVII, et renfermera les observations de 1843. (Cet observatoire est situé près de Kelso, dans le Roxburghshire).

§ 2. Courants électriques dans l'intérieur de la terre.

M. R. W. Fox a communiqué à la Société royale de Londres des *Remarques sur certaines irrégularités de l'aiguille aimantée, produites par une chaleur locale, et sur les rapports qui paraissent exister entre le magnétisme terrestre et la structure géologique, et les courants thermo-électriques de la terre* (1). Parmi les résultats de ses expériences sur la thermo-électricité des roches, l'auteur trouve que les schistes compactes sont d'excellents conducteurs d'électricité, et que la partie chauffée donne des indications d'électricité positive. Le granite, au contraire, à la température rouge-clair, est peu susceptible de conduire l'électricité; mais lorsqu'il est vitrifié, c'est un conducteur presque parfait, circonstance due probablement à la destruction de la structure cristalline. En général, l'extrémité la plus chauffée est négative, et il en est de même pour les feldspaths porphyriques. Les diorites et les serpentines diffèrent aussi dans leurs propriétés électriques; les premières donnant une électricité positive et les secondes une électricité négative à leurs extrémités chauffées. Il y a en outre beaucoup d'anomalies qui sont quelquefois inverses et sans cause appréciable.

L'existence supposée d'une température élevée à l'intérieur du globe doit produire, d'après M. Fox, des courants électriques dans des directions différentes et même inverses, et exercer une certaine influence sur tous les phénomènes du magnétisme terrestre. Les directions de ces courants sont probablement très influencées par la structure géologique du globe qui, dans beaucoup de cas, peut tendre à leur donner une direction plus ou moins oblique aux parallèles de latitude.

---

(1) *Proceed. roy. Soc. of London*, n° 10, p. 123. 1832.

Digitized by Google

M. Fox attribue aussi les changements diurnes dans l'intensité et la direction du magnétisme terrestre à l'action successive du soleil sur les diverses parties de la surface du globe.

Plus tard, le même savant, dans sa théorie des filons (1), a regardé les veines minérales comme des fissures résultant des changements de température de la terre. Les dimensions de ces fissures se seraient graduellement augmentées, et leur remplissage aurait eu lieu progressivement aussi ; et comme les changements dans la température ont pu produire des changements dans l'intensité et les courbes du magnétisme terrestre, l'électricité doit avoir beaucoup influencé l'arrangement et le contenu de ces fissures. Le cuivre, l'étain, le fer et le zinc en combinaison avec les acides sulfurique et muriatique, étant très solubles dans l'eau, auraient été dans cet état de bons conducteurs. D'un autre côté, les roches encaissantes contenant différents sels ont pu se trouver dans des conditions électriques opposées; de là l'établissement de courants dans les fissures et la précipitation des métaux déposés dans les veines. Des courants de cette sorte, déterminés en outre par le magnétisme terrestre, auraient pu passer non du N. au S. ou du S. au N. aussi aisément que de l'E. à l'O., mais plus facilement que de l'O. à l'E.

Dans un autre travail, M. Fox (2) a fait remarquer que la concentration du minerai dans certaines roches, de préférence à d'autres, semble résulter de leur position relative et de circonstances locales, et que quelque agent défini, tel que l'électricité, peut avoir influencé ces rapports. La tendance E., O. des veines métalliques pourrait aussi être attribuée à l'action électro-chimique de la terre. Quant aux exceptions, elles résulteraient de circonstances particulières; mais la coïncidence de la direction des veines, dans le plus grand nombre des cas, est trop manifeste pour n'être pas le résultat d'une loi générale.

Les veines d'étain de St-Just ont présenté les plus grandes déviations que l'auteur ait observées dans les mines du Cornouailles; cependant leur direction, relativement au méridien vrai, est une moyenne

---

(1) *A letter*, etc. Lettre sur la formation des veines minérales (*Proceed. geol. Soc. of London*, vol. II, p. 406. 1836). — Voyez aussi : *Rep.* 6th *meet. brit. Assoc.*, vol 5, p. 81. 1836. — *Report of some experiments*, etc. Rapport sur quelques expériences relatives à l'électricité des veines métalliques et à la température des mines (*Rep.* 7th *meet. brit. Assoc. at Liverpool*, 1837 (Londres, 1838), p. 133.

(2) *Transac. geol. Soc. of London*, vol. V, p. 497. 1838.

Digitized by Google

dirigée à peu près N.-O., S.-E., et celle des *guides* ou *cross-courses* (1) est presque N., S. Beaucoup de grands filons d'oxyde de fer du Cornouailles, du Devonshire, etc., ont une direction N., S., ou plutôt coïncident presque avec le méridien magnétique. De nombreux filons de quartz dans les *cross-courses* peuvent avoir été apportés d'une grande profondeur avec des eaux thermales et déposés graduellement à mesure que la température de l'eau s'abaissait. Mais la texture fibreuse ou cristalline de ce quartz, dont les cristaux ont leur axe placé perpendiculairement aux parois des filons (*cross-courses*), est souvent si prononcée, qu'elle indique l'action de quelque cause générale ou de quelque force ayant une direction déterminée.

M. Fox avait obtenu auparavant, par l'action de la pile voltaïque, des veines de sulfate de zinc dans de l'argile. Ces veines présentaient une structure fibreuse dont les fibres étaient perpendiculaires à la direction des parois, absolument comme le quartz des *cross-courses*. Dans ces mêmes expériences, l'argile a pris une structure schisteuse (2), et ses feuillets se sont trouvés perpendiculaires à la direction du courant voltaïque. Les veines de carbonate de cuivre, de carbonate de zinc, d'oxyde de fer et d'étain peuvent se produire aussi dans le sens des feuillets de l'argile et à angle droit; enfin, ces résultats artificiels paraissent offrir une grande analogie avec ce que l'on observe dans la nature.

M. Henwood, qui s'est aussi livré à de nombreuses recherches sur ce sujet, ne paraît pas être arrivé aux mêmes conclusions. Dans son *Mémoire sur les courants électriques observés dans les filons du Cornouailles* (3), il établit que les filons métallifères (*lodes*) courent en général E., O. magnétique, et qu'une seconde série de filons (*contra-lodes*) dirigée N.-O., S.-E. est coupée par une troisième composée de filons croiseurs (*cross-courses*). Les phyllades à la même profondeur ont une température de 3° plus élevée que celle des granites.

---

(1) On nomme *cross-courses* les filons stériles croisant les filons de cuivre ou d'étain; *guides*, des filons stériles ou *cross-courses* avoisinant les *lodes* qui sont les filons riches en minerai.

(2) *Proceed. geol. Soc. of London*, vol. III, p. 9.— Voyez aussi : *Notice de quelques expériences sur les courants électriques dans les mines de Pennance, près Falmouth*, par le même, *ibid.*, p. 755.

(3) Trad. française, par M. E. Cordier (*Ann. des mines*, 3e série, vol. XI, p. 585. 1837).

Digitized by Google

Quelle que soit la direction des filons, les résultats se sont trouvés à très peu près les mêmes, c'est-à-dire que l'on n'a reconnu aucune électricité dans les filons qui contenaient seulement des minerais d'étain, et dans plusieurs de ceux où l'on trouve du cuivre. Les filons dans lesquels on a constaté le plus d'électricité renfermaient des pyrites de cuivre, des minerais de cuivre vitreux, du cuivre noir, de la galène et de la blende. La présence de l'électricité n'a d'ailleurs été reconnue que dans la partie métallique proprement dite, car on n'en a point observé dans les portions terreuses stériles. Les filons de plomb, dans le calcaire carbonifère du pays de Galles, sont dépourvus de courants électriques. Il en a été de même dans la grauwacke schisteuse des bords du Rhin, à St-Goar, où M. de Strombeck n'a reconnu aucune électricité dans des filons avec pyrite cuivreuse, galène, carbonate et phosphate de plomb, etc. (1).

Dans 57 séries d'observations, 13 ont présenté des courants ascendants et 35 des courants descendants; dans 26, les courants se dirigeaient vers le granite, et dans 21 ils partaient de ce même granite. Quant aux causes de ces phénomènes, elles paraissent, à M. Henwood, être thermo-électriques ou voltaïques; opinion vers laquelle penchent aussi MM. Fox et de Strombeck.

Mais M. Henwood n'admet pas, comme M. Fox, que les courants électriques aient aucun rapport nécessaire avec la manière dont les substances des filons ont été déposées originairement; et quand cela serait, dit-il, il resterait à expliquer la formation des filons où il ne se manifeste pas d'électricité. Les filons de St-Just sont parallèles au méridien, et cependant M. Fox suppose que les courants ont agi de préférence du N.-E. au S.-O, suivant la ligne des filons croiseurs; qu'ils ont dû former plus facilement des angles droits avec le méridien magnétique que tout autre angle; et c'est par cette facilité même que l'on voudrait expliquer comment les filons E., O. et N.-O., S.-E. se sont remplis de préférence aux filons N., S.; enfin, on suppose en même temps que tous sont synchroniques; or, ces déductions semblent au moins hasardées à M. Henwood, si l'on remarque surtout que la direction de l'aiguille est un élément incertain, variant constamment, et que les forces aujourd'hui parallèles ne l'étaient pas il y a quelques années, et qu'elles ne le seront plus dans quelque temps.

---

(1) Voyez aussi : A. Boué, *Résumé pour l'année* 1833 (*Bull.*, vol. V, p. 53).

Digitized by Google

Suivant M. Fox, telle roche serait négative et telle autre positive, et par suite tel minerai se serait déposé dans le granite, par exemple, et tel autre dans le phyllade; mais M. Henwood fait voir que la même espèce de minerai se trouve dans les deux roches sur des points différents. En résumé, d'après ce dernier observateur, les courants électriques souterrains sont purement locaux; leur origine est due aux inégalités de la température propre aux différents minerais, peut-être aussi à des alternances de diverses substances métalliques, lesquelles peuvent, dans certaines limites, produire des effets analogues à ceux qui résultent des changements chimiques.

Le même savant, dans ses *Expériences sur les conditions électriques des roches et des veines métalliques* (lodes) *des mines de Long-close et Rosewall-hill en Cornouailles* (1), a reconnu que le granite et le filon d'étain de la seconde de ces mines, ainsi que les grès et les filons de cuivre de la première, présentaient des traces certaines de courants électriques, soit dans différentes parties des mêmes veines, soit dans différentes parties des mêmes roches qui ont été examinées.

Dans un travail extrêmement étendu sur les mines du Cornouailles, travail que nous avons déjà cité et sur lequel nous reviendrons encore, M. Henwood (2) a traité de nouveau la question des courants électriques observés dans les roches et les filons. Les expériences qui ont été faites, de 1830 à 1840, dans chacune des mines de cette province, ont fourni une grande quantité de documents précieux, mais dont l'auteur ne paraît pas avoir tiré de conclusion générale, ce qui d'ailleurs n'était de sa part qu'une sage réserve. On peut y remarquer cependant que les directions, l'inclinaison et la composition des lodes, la température des stations et les distances qui les séparent, sont des circonstances qui peuvent influer sur les directions et les quantités d'électricité.

M. Becquerel (3), de son côté, est venu infirmer plusieurs des

---

(1) *Soc. roy. de Londres* (*Ann. des sc. géol.*, vol. I, p. 276. 1842).

(2) *Transac. r. geol. Soc. of Cornwall*, vol. V, p. 445. 1843.— Voyez aussi : *Rep. r. corn. polytech. Soc.*, 1841, pour une note de M. Fox. — *Rep. meet. brit. Assoc.*, vol. VII, p. 25. — *Lond. and Edinb. phil. Magaz.*, vol. III, p. 16. 1833. — *Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXVIII. 1839. — *L'Institut*, 11 juin 1845.

(3) *Des courants électriques terrestres et de leur influence sur les phénomènes de décomposition et de recomposition dans les terrains qu'ils parcourent.* Paris, 1844.—*L'Écho*, 19 décembre 1844.

Digitized by Google

résultats que nous venons d'énoncer, et il a conclu de ses recherches qu'il n'existe réellement de courants électriques terrestres que lorsque deux terrains, d'une nature quelconque et en contact, sont humectés, que l'eau de l'un tient en dissolution des composés qui ne se trouvent point dans l'autre, et que tous deux sont traversés par des substances conductrices, telles que les matières charbonneuses, les pyrites, la galène, etc. Si tous ces corps ne forment pas de conducteurs continus, il y aura autant de courants partiels, et par suite de centres d'action décomposante, qu'il y a de conducteurs séparés. L'existence de courants peut être constatée sur beaucoup de points où l'on ne soupçonne pas de différences notables dans la nature des terrains, et cela uniquement par suite des eaux qui les humectent.

M. Becquerel démontre, en outre, que l'on ne peut admettre, comme l'avait imaginé Ampère pour expliquer le magnétisme terrestre, des courants électro-chimiques circulant de l'E. à l'O. dans l'écorce de la terre. On ne peut pas non plus attribuer une origine calorifique aux courants terrestres, parce qu'il faudrait que les circuits fussent continus et composés de substances conductrices, ce qui a rarement lieu, celles-ci étant, dans beaucoup de cas, interceptées par d'autres qui ne jouissent pas de cette propriété. La même objection subsiste encore relativement à la production des courants par la différence de température entre le noyau central et l'écorce extérieure.

Quant aux expériences entreprises pour constater la présence de courants électriques, ainsi que leur direction, dans le but d'expliquer le magnétisme terrestre lui-même, le remplissage des filons et les changements qui s'opèrent constamment, le savant académicien pense que l'erreur où l'on est généralement tombé provient en grande partie des traces que la théorie du contact a laissées dans la science. Enfin, il termine son travail par la discussion des expériences dont nous avons parlé, et qui ont été faites dans les mines du Cornouailles.

Appendice bibliographique.

F. Reich. — *Researches on the electrical currents*, etc. Recherches sur les courants électriques dans les veines métallifères des mines d'Himmelfahrt, près Freyberg (*Edinb. new phil. Magaz.*, vol. XXVIII, p. 1. 1840).

Digitized by Google

R. W. Fox. — *Some remarks*, etc. Quelques remarques sur les courants électriques dans les veines métallifères (*Ibid.*, p. 267).

Becquerel. — *Observations sur l'origine électrique des veines métallifères* (Voyez son *Traité expérimental de l'électricité et du magnétisme*, vol. V, p. 167).

R. Hunt et J. Phillips. — *On the electricity*, etc. Sur l'électricité des veines minérales (*The mining Journal*, n° 365).

Digitized by Google

CHAPITRE V.

GÉOGRAPHIE PHYSIQUE.

§ 1. Division de la surface du globe en terre et en eau.

Halley avait déterminé, en 1693, le nombre approximatif d'acres de chaque comté d'Angleterre, par un moyen que Senex appliqua plus tard à la recherche des quantités relatives d'eau et de terre à la surface du globe. Ce moyen consistait à peser avec une grande précision le poids du papier occupé par les mers et celui du papier occupé par les terres, après les avoir découpés sur une mappemonde. Cette appréciation donna 349 grains pour les mers et 124 pour les terres, ou un rapport presque de 3 à 1. M. Rigaud (1), en employant le même procédé, a cherché à se mettre à l'abri des diverses causes d'erreurs qu'il présente, telles que l'humidité de l'air, l'hygrométricité du papier, l'inégalité du poids de celui-ci dans les différentes parties de la feuille, etc.

M. Rigaud a pesé successivement les portions d'eau et de terre dont la surface totale était divisée en parties de 15°; et après avoir donné les quantités relatives obtenues pour chacune de ces bandes, il déduit de son travail les proportions suivantes. La surface occupée par la terre étant représentée par 100 dans chaque terme de comparaison, la surface de l'eau, entre le cercle polaire boréal et le pôle, serait 139 ; dans la zone tempérée Nord, 105; dans la moitié Nord de la zone torride, 279; dans la moitié Sud, 332; et dans la zone tempérée Sud, 1,049. Pour le cercle polaire austral l'auteur n'a supposé aucune terre émergée (2).

En groupant ces résultats par hémisphère, il trouve que dans l'hémisphère Nord les terres seraient aux eaux : : 100 : 154; dans l'hémisphère Sud : : 100 : 628 ; dans la zone torride : : 100 : 304.

(1) *On the relative quantities*, etc. Sur les quantités relatives de terre et d'eau à la surface du globe (*Transac. phil. Soc. of Cambridge*, vol. VI, p. 289. 1837.

(2) Les découvertes du capitaine James Ross, de Dumont-d'Urville et du capitaine Wilkes, sont postérieures au travail de M. Rigaud.

Digitized by Google

Enfin, la proportion relative des terres et des eaux à la surface du globe entier serait : : 100 : 276, résultat qui, si l'on a égard aux progrès de la géographie dans l'espace d'un siècle, diffère peu de celui qui fut obtenu par Senex et publié en 1742 par le docteur Long. Il s'accorde encore plus exactement avec celui qu'ont donné MM. Carey et Addison en 1823. Quant aux chiffres indiqués par Malte-Brun, M. Rigaud fait voir qu'ils sont assez différents, et il signale la cause de l'erreur commise par ce géographe.

§ 2. Épaisseur connue de l'écorce terrestre.

M. de Humboldt a rassemblé, dans une note de la page 486 du *Cosmos*, les éléments les plus exacts que nous possédions jusqu'à présent sur cette question, et nous ne pouvons mieux faire que de citer le résumé qu'il en donne lui-même à la page 180 de cet ouvrage.

« Le champ de nos recherches sur la propriété de la matière est » circonscrit, dit-il, par la surface terrestre, ou plutôt par la pro- » fondeur où les excavations naturelles et les travaux des hommes » nous permettent d'atteindre dans les couches voisines de la sur- » face. Or, dans le sens vertical, ces travaux ne pénètrent guère qu'à » 2,000 pieds (650 mètres) au-dessous du niveau de la mer, c'est- » à-dire à $\frac{1}{9800}$ du rayon de la terre. Les masses cristallines, lan- » cées par les volcans encore en activité, et semblables pour la plu- » part aux roches de la surface, proviennent de profondeurs » indéterminées, mais au moins soixante fois plus grandes que » celles où les travaux des hommes ont pu atteindre. Là où un lit » de charbon de terre plonge et se courbe pour remonter plus loin » à une distance bien connue, il est possible d'évaluer en nombre » la profondeur de la couche ; et l'on a démontré que ces dépôts de » charbon, mêlés de débris organiques de l'ancien monde, s'en- » foncent à 2,000 mètres au-dessous du niveau de la mer (en Bel- » gique par exemple) ; les calcaires et les couches devoniennes, » recourbées en forme de vallées, atteignent une profondeur dou- » ble. Si l'on compare ces dépressions souterraines avec les cimes » des montagnes que l'on a regardées jusqu'à présent comme les » parties les plus hautes de l'écorce soulevée de notre globe, on » trouve une distance de 37,000 pieds (1 myriamètre et $\frac{2}{10}$) ce qui » revient à $\frac{1}{524}$ du rayon terrestre. Tel est, dans le sens vertical,

Digitized by Google

» le seul espace où pourraient s'exercer les recherches de la géo-
» gnosie, même quand la surface de la terre entière s'étendrait
» jusqu'au sommet du Dhawalagiri ou du Sorata. Tout ce qui est
» situé plus profondément que les dépressions dont j'ai parlé, que
» les travaux des hommes, que le fond de la mer où la sonde a pu
» parvenir (James Ross a filé 25,400 pieds de sonde sans l'atteindre),
» nous est aussi inconnu que l'intérieur des autres planètes de notre
» système solaire. »

Ce résumé est sans doute exact au point de vue purement physique, qui est celui sous lequel nous considérons la terre en ce moment, mais il ne le serait pas au point de vue géologique; car on connaît des terrains qui, dans un même pays, ont une plus grande épaisseur que les 37,000 pieds assignés par M. de Humboldt à la portion connue de l'écorce terrestre. Cette puissance énorme des dépôts anciens, surtout dans l'Amérique du Nord, est le critérium le plus frappant que nous puissions trouver de l'ancienneté des âges géologiques et de celle de notre planète elle-même.

§ 3. Niveau des mers.

Les travaux les plus récents et les plus exacts ont fait reconnaître que, des deux côtés de l'isthme de Panama, le niveau de l'Océan Pacifique et celui de la mer des Antilles était sensiblement le même, et que les petites différences que l'on pourrait trouver tiennent à ce que le moment de la haute et de la basse mer n'a pas lieu en même temps sur les deux côtes (1).

Les opérations dirigées par M. Lepère, lors de l'expédition d'Egypte, ont fait admettre des résultats qui n'ont pas encore été contredits. Ainsi, le niveau de la Méditerranée, à l'embouchure du Nil, serait inférieur de 4,1 toises (8^{m},120) aux basses eaux de la mer Rouge, près de Suez, et de 5^{t},1 (10^{m},069) lors des hautes eaux. M. de Humboldt attribue cette différence à l'élévation des eaux dans le golfe Arabique, au nord du détroit de Bab-el-Mandeb, et non aux hypothèses de M. de Corancez sur l'attraction réciproque des molécules d'eau et sur la dépression de la partie orien-

(1) De Humboldt, *Asie centrale*, vol. II, p. 325. — Voyez aussi : E. Harris, *On the difference of level*, etc. Sur la différence de niveau entre les eaux du golfe du Mexique et celles de l'Océan Atlantique (*Proceed. Acad. natur. sc. of Philadelphie*, vol. III, p. 34. 1846).

Digitized by Google

tale de la Méditerranée, qui résulterait de l'excès de l'évaporation sur le volume d'eau qu'apportent les rivières.

Les nivellements géodésiques les plus exacts ont constaté qu'il n'y avait pas de différence sensible de niveau entre la mer Baltique, l'Atlantique et la Méditerranée. Cependant un exhaussement paraît avoir été reconnu récemment dans la partie septentrionale du golfe Adriatique, en comparant son niveau au reste du bassin de la Méditerranée, exhaussement qui serait, par rapport au niveau de cette dernière à Marseille, de 8^m,50 ou de 7^m,53 ; mais de nouvelles mesures paraissent être encore nécessaires pour qu'on puisse admettre ce résultat comme certain (1).

La mer Caspienne, comme on sait, n'a point de marées, mais on y a observé une crue et une baisse des eaux qui s'accomplissent dans un laps de 34 ans. Cette circonstance particulière au régime d'une mer fermée n'a cependant été étudiée jusqu'à présent que d'une manière assez incomplète. D'après M. Felkner (2), la mer en 1832 se trouvait à son niveau le plus bas. Elle a remonté depuis 1833 sur toute la rive orientale. La crue ne dépasse pas 4 pieds (1^m,29) dans le cours d'une année. Au dire des habitants, le maximum de hauteur aurait été atteint en 1819, et la différence entre les niveaux extrêmes serait de 9 pieds (2^m,92). Des observations faites simultanément sur les côtes orientales et occidentales pourront constater la réalité du phénomène et conduire à la connaissance de sa cause, peut-être plus ou moins analogue à celle encore fort obscure des *sèches*, dans les bassins moins étendus.

§ 4. Profondeur des mers.

Les sondages exécutés à bord de la frégate *la Vénus*, par 57° lat. S. et 85° long. O. de Paris, n'ont pas atteint le fond de la mer à 3,470 yards (3,142^m,62). Sur un autre point, dans l'Océan Pacifique, la sonde n'a point non plus touché le sol sous-marin à 4,140 yards (3,785^m,20) (3).

Le capitaine J. Ross, naviguant à 900 milles à l'O. de Ste-Hélène, a descendu jusqu'à 5,000 brasses ou 30,000 pieds anglais

(1) De Humboldt, *Asie centrale*, vol. II, p. 333.
(2) *Ann. du journ. des mines de Russie*, vol. V, p. 189. 1840.
(3) *New-York Journ. of commerce*, 17 nov. 1840. — *Amer Journ.*, vol. XI, p. 407. 1841.

Digitized by Google

(9,143m,70) une sonde dont le poids était de 450 livres. Un autre sondage, exécuté à 300 milles à l'O. du cap de Bonne-Espérance, par 33° lat. S. et 9° long. O., descendit à 2,226 brasses (3,615 mètres) sans atteindre le fond, et l'on mit 49 minutes 1/2 pour retirer la ligne (1).

M. A. Zeune a publié, sur le fond de la mer autour de l'Europe, une note (2) dans laquelle il a rassemblé les sondages exécutés sur les côtes jusqu'à une certaine distance de la terre. C'est un travail, en effet, très utile, comme nous le fait observer M. Boué, que de chercher à coordonner les connaissances acquises sur les courants, les vallées sous-marines et en un mot sur le relief de la surface terrestre immergée, afin de le rattacher au relief du sol émergé; sujet qui paraît avoir été négligé depuis le mémoire de Buache publié en 1752. Il serait à désirer que les officiers employés au relèvement des côtes et aux sondages des parties voisines ne se bornassent pas dans leur travail à des résultats purement graphiques et matériels, mais qu'ils s'élevassent à des considérations plus générales par la comparaison du relief et de la composition des parties immergées et émergées de la surface qu'ils étudient.

§ 5. Composition de l'eau de la mer.

Les recherches faites sur la composition des eaux recueillies en mer pendant le voyage de la corvette *la Bonite* (3) ont démontré que dans l'Océan Pacifique, le golfe du Bengale, l'Océan Indien et l'Océan Atlantique méridional, la densité générale de l'eau prise à la surface était moindre que celle de l'eau prise à une certaine profondeur. Une seule exception à cette règle a été reconnue. A une seule exception près aussi, le degré de salure est plus prononcé au fond qu'à la surface. L'eau de la surface renferme moins d'air que celle des profondeurs, et la différence peut aller à $\frac{1}{100}$ du volume de l'eau. Le gaz provenant de l'eau prise à une plus grande profondeur contient beaucoup plus d'acide carbonique que celui pris à la surface; mais on ne sait pas bien si le gaz existe tout formé dans l'eau ou s'il provient de la décomposition de matières floconneuses trouvées dans tous les flacons dont l'eau avait été recueillie

(1) *Soc. géogr. d'Edimbourg*, vol. XXXII, p. 400. 1841.
(2) *Ann. de Berghaus*, vol. IV, p. 465-474. 1834.
(3) *Comp. rend.*, vol. VI, p. 616. 1838.

Digitized by Google

à une grande profondeur. Ces eaux avaient été prises entre 70 et 450 brasses.

D'après M. Daniell (1), l'eau des fleuves de la côte occidentale de l'Afrique renferme une proportion notable d'hydrogène sulfuré ; or, on sait que $\frac{1}{1500}$ de ce gaz répandu dans l'air suffirait pour asphyxier les oiseaux et incommoder fortement les hommes les plus robustes. A 60 milles en mer, et sur une étendue de 40,000 milles carrés, depuis le 8° lat. N. jusqu'au 8° lat. S., les eaux de l'Atlantique, sur la côte d'Afrique, sont imprégnées d'hydrogène sulfuré, et ce gaz devient surtout très abondant dans le Volta, la baie Lopez, le grand Bonny, etc. L'auteur attribue l'origine de cette vaste accumulation de gaz délétère à la réaction de la matière végétale amenée par les rivières et aux sulfates contenus dans les eaux de la mer.

M. Daniell croit aussi que la *malaria* des maremmes d'Italie, les miasmes puants de l'Afrique, la fièvre des jungles dans l'Inde, doivent être attribués à la présence de ce même gaz. Lorsque le sol renferme du sulfate de soude et de magnésie, il se développe sans doute des volumes considérables d'hydrogène sulfuré (2).

Dans la Méditerranée, en face d'Alger, M. Aimé (3) a trouvé que la quantité d'air contenu dans l'eau était à peu près constante, depuis la surface jusqu'à 1,600 mètres de profondeur, résultat qui diffère de celui que nous venons de signaler pour beaucoup de points de l'Océan.

Diverses analyses des eaux de la mer Noire, de la mer d'Azof et de la mer Caspienne ont démontré que les sels y étaient les mêmes, mais en proportions différentes. Ainsi, dans la mer Noire, la proportion est 17,0663 ; dans la mer d'Azof, 11,8795 ; et dans la mer Caspienne, 6,2942 (4). Nous reviendrons d'ailleurs sur cette dernière en parlant des lacs salés.

M. Bonsdorff a aussi publié une notice sur la composition de l'eau de mer, surtout relativement au sulfate de chaux qu'elle renferme (5), et M. Backs (6) a donné l'analyse de l'eau de la mer du

---

(1) *Bull. de la Soc. de géogr. de Paris*, vol. XVI, p. 420. 1841.
(2) *Ann. des sc. géol.*, vol. I, p. 226. — *L'Institut*, n° 421, p. 31.
(3) *Comp. rend.*, vol. XVI, p. 749. 1843.
(4) *Ann. des mines*, vol. XIX, 3e sér., p. 615. 1841.
(5) *Ann. der chem. und physik de Poggendorff*, vol. XXX, p. 133.
(6) *Journ. f. prak. chem.* — *L'Institut*, 24 septembre 1845, p. 340.

Digitized by Google

Nord, à laquelle il a réuni celles qui avaient été faites auparavant, et que nous avons disposées comme il suit :

Localités.	Auteurs.	Densités.	Température.	Chlorure de sodium.	Chlorure de potassium.	Chlorure de magnésium.	Chlorure de calcium.	Sulfate de magnésie.	Sulfate de chaux.	Total.
Côte d'Helgoland.	Backs.	1,0254	15°	2,558	0,101	0,277	»	0,199	0,118	3,053
Pas-de-Calais.	Gay-Lussac.	1,0278	8°	»	»	»	»	»	»	3,48 } résidu anhydre
Firth of Forth.	J. Murray.	»	»	2 180	»	0,486	0,078	»	0,550	3,094
Côte nord du pays de Galles.	Clemm.	1,025	19°	2,484	0,155	0 242	»	0,206	0,120	3,078

Il existe en outre des traces de carbonate de chaux, magnésie, fer et manganèse, de phosphate de chaux, de bromures, d'iodures, de silice, de matière organique, d'acide carbonique et d'ammoniaque.

M. Schafhaeutl (1), à la suite de considérations sur le *salzthon* ou argile salée, a présenté quelques calculs sur la quantité des sels contenus dans les eaux de toutes les mers du globe.

En estimant leur salure moyenne à $\frac{39.15}{1000}$, il admet sur ce nombre 26,91 de sel marin, 5,645 de chlorure de magnésium, 4,660 de sulfate de soude, et 1,279 de carbonate de chaux. La surface totale des mers étant de 6,173,666 milles carrés d'Allemagne, et leur profondeur moyenne de 300 mètres (de Humboldt), la capacité du bassin des mers sera de 2,500,215,4 milles géographiques cubes, qui contiendront en matières solides :

	milles cubes
Chlorure de sodium.	3,051,34200
Sulfate de soude..	633,64436
Carbonate de magnésie. . . .	441,81180
Carbonate de chaux.	109,33944

Si l'on considère les chaînes de montagnes, ainsi que nous le dirons plus loin, comme des prismes triangulaires dont la section serait un triangle isocèle, et dont la hauteur serait la hauteur moyenne de la masse, on trouve pour leur volume :

(1) *Acad. des sc. de Munich.* — *L'Institut*, 9 avril 1845, p 137.

Digitized by Google

	milles cubes.
Cordillère du Sud.	41,666,500
L'Himalaya proprement dit. .	5,169,825
Les Alpes.	685,125
Les Pyrénées.	119,350

Ainsi la masse de sel marin répandue dans les mers est 5 fois plus considérable que le massif des Alpes, et seulement de 1/3 de moins que celui de l'Himalaya. Le sulfate de soude est égal au massif des Alpes. Le carbonate de magnésie formerait une masse presque aussi considérable, et le carbonate de chaux est égal au volume des Pyrénées. Si l'on admettait, avec de Laplace, que la profondeur moyenne des mers est de 1,000 mètres au lieu de 300, la masse de sel marin excéderait de plus du double la masse de l'Himalaya.

Pour la différence du degré de salure des diverses mers du globe, nous renvoyons au commencement du chapitre II de la quatrième partie ci-après, où se trouve l'analyse d'un rapport de M. Daubeny (1).

§ 6. Des courants marins.

M. Maury (2) a publié des remarques intéressantes sur le *gulf stream* et sur les courants marins en général; mais ce travail, comme la plupart de ceux du même genre, se rattache plus immédiatement à la météorologie et à l'hydrographie maritime qu'à la géologie : aussi ne croyons-nous pas devoir nous y arrêter, non plus qu'à un mémoire de M. C. Kapp (3) sur les courants et leurs causes.

§ 7. Mouvements des vagues.

M. Siau (4), pendant un voyage à l'île Bourbon, a constaté que l'action des vagues dans la baie de Saint-Paul, près Saint-Gilles, se faisait sentir jusqu'à la profondeur de 188 mètres, sur un fond de sable et de gravier basaltique. Cette observation s'accorderait

(1) Voyez aussi : Forchhamme , *Afhandling om Savandets*, etc. Dissertation sur la composition de l'eau de mer, in-8, 1re partie (*Oversigt over det Kongl. danske Vider. sels. Forhandl. Aaret*, 1845, p. 24. — *The Athenæum*, 1846, p. 1003).

(2) *Amer. Journ.*, vol. XLVII, p. 161. 1844.

(3) *Neu. Jahrb.*, 1842, p. 283-301 et 436-450.

(4) *Ann. de phys. et de chim.*, 2e sér., vol. II, p. 118. 1841. — *Acad. des sc.*, 26 avril 1841. — *L'Institut*, 8 mai 1841.

Digitized by Google

assez, comme l'a fait remarquer M. Élie de Beaumont, avec le maximum de profondeur auquel on pensait que s'étendait la vie animale ; mais des recherches plus récentes ont modifié cette dernière opinion.

Bien que la théorie des marées et des vagues ne puisse guère trouver place ici, nous ne devons point passer sous silence celle qu'a développée avec beaucoup de talent M. J. Scott Russel (1), parce qu'elle a été invoquée, comme nous aurons occasion de le dire, par plusieurs géologues, à l'appui de leurs idées sur le transport des blocs erratiques et pour l'explication de quelques autres phénomènes géologiques.

Les expériences de M. Russel tendent à prouver que l'élévation subite d'une masse solide de dessous l'eau produit une élévation correspondante à la surface du fluide, laquelle donne lieu à ce que l'auteur appelle une *vague de translation de premier ordre*. Cette vague est ainsi nommée parce qu'elle ne s'élève pas et qu'elle ne tombe pas comme les vagues ordinaires, mais s'élève au contraire et se maintient au-dessus du niveau de l'eau. En établissant que cette vague se propage avec une vitesse qui varie comme la racine carrée de la profondeur de l'Océan, l'auteur détermine la vitesse de la vague de transmission. L'idée ancienne que l'agitation et la puissance des vagues ne s'étendaient qu'à une faible profondeur n'est pas exacte, relativement aux vagues de translation ; car M. Russel s'est assuré que lorsqu'elles agissent, le mouvement des parties de l'eau est presque aussi grand au fond qu'à la surface. Il fait voir en outre que les corps mus au fond ne sont pas roulés en arrière et en avant, comme ils le seraient par une vague ordinaire de la surface ; mais qu'ils ont un mouvement continu en avant, pendant tout le passage de la longueur de la vague. Un déplacement complet résultera donc de l'effet de la vague de transport, qui peut être regardée, par cette raison, comme un agent mécanique pour transmettre une force, aussi complet et aussi parfait que le levier ou le plan incliné.

---

(1) *Rep. 7th Meet. brit. assoc. at Liverpool*, 1838. — *Report on Waves*, avec un grand nombre de planches (*Rep. 14th Meet. brit. assoc. at York*, 1844 (Londres, 1845,) p. 311).

Digitized by Google

Digitized by Google

CHAPITRE VI.

OROGRAPHIE ET RELIEF DES CONTINENTS.

§ 1. Orographie générale.

Les formes variées et les accidents nombreux que nous offre la surface du globe étant la conséquence immédiate des révolutions que cette dernière a subies, leur examen fait donc essentiellement partie de la Géologie et ne peut être renvoyé à la Géographie, car ce serait séparer les *effets* de leur véritable *cause*.

Le tableau le plus largement tracé que nous possédions encore du relief des continents est sans aucun doute celui qu'a donné M. de Humboldt dans son ouvrage sur l'*Asie centrale* (1), et dont les *Fragments asiatiques* du même auteur nous avaient déjà fait connaître les principaux traits; il semble même que l'étude de cet immense massif de l'ancien monde, étude où l'érudition la plus riche, la plus variée et la plus profonde à la fois vient se rattacher aux observations directes du grand voyageur, n'ait été pour lui qu'un sujet en quelque sorte de moindre importance pour rassembler et grouper autour toute l'orographie du globe. Et cela est si vrai, que cette Asie centrale elle-même reste encore, après ce magnifique travail, la partie la moins connue de la terre, si l'on en excepte toutefois le centre de l'Afrique et de l'Australie. Ce sera donc par une esquisse rapide de ce vaste édifice que nous commencerons ce que nous avons à dire du relief des continents.

Nous traiterons ensuite de l'*orographie particulière*, ou de celle de certaines chaînes de montagnes et de certains pays, puis de l'*orographie systématique* et de l'*orographie appliquée*, l'une par laquelle on a cherché à ramener à certaines lois générales les accidents de la surface de notre planète, et l'autre, dont l'application

(1) *Asie centrale; recherches sur les chaînes de montagnes et la climatologie comparée*, 3 vol. in-8, une carte. Paris, 1843. — *Zentral Asien*, etc., traduction allemande par le Dr W. Mahlmann, in-8. Berlin, 1843-1844.

Digitized by Google

a permis de conclure, dans certaines limites, de la forme, de la position et de l'allure des chaînes ou des formes continentales, à la composition géologique de ces mêmes chaînes et à celle des plateaux ou des plaines basses. L'étroite liaison de la géologie de superposition et de la géologie théorique ou spéculative avec le relief du sol doit justifier assez les développements que nous donnerons à ce sujet.

Considérations générales.

L'axe du plateau central de l'Asie, dit M. de Humboldt (1), est dirigé S.-O., N.-E., et sa formation est certainement antérieure aux grandes chaînes de montagnes qui se prolongent dans le sens des parallèles à l'équateur. Ce plateau, qui s'étend de la pente nord de l'Himalaya jusqu'au Khangkai de la Mongolie chinoise, ou limite nord-est du Gobi, a 520 lieues marines de long (2), et occupe une surface bombée de 60 à 65,000 lieues carrées, c'est-à-dire quatre fois à peu près la surface de la France. Son élévation encore peu connue est d'ailleurs très inégale et généralement moindre qu'on ne l'avait supposée jusqu'à présent. D'après MM. G. Fuss et de Bunge, sa hauteur moyenne serait de 4,000 pieds ou de 1,300 mètres, hauteur double de celle du plateau de l'Espagne (3).

Une grande crête tranversale, placée un peu à l'E. des lacs sacrés de Manasa et de Râwana-hrada, correspond, par sa prolongation au S., à un méridien qui sépare le Djawahir du Dhawalagiri. C'est la ligne de partage au N.-O. des eaux de l'Indus et du Setledje, de celles qui coulent au S.-E. Ce renflement du sol est bordé par les montagnes du Kouen-lun et de l'Himalaya, systèmes presque convergents entre le Cachemire (*Kachmyr*) et le Bolor. Il constitue le

(1) Vol. I, p. 7. — La nécessité de nous restreindre dans un cadre plus étroit et de supprimer par conséquent tous les détails qui relient entre elles les diverses parties de l'ouvrage ne nous a pas toujours permis de suivre notre savant guide dans l'arrangement des faits, et nous les avons disposés de la manière qui nous a paru la plus propre à bien faire saisir les idées générales.

(2) Dans tout le cours de son ouvrage, M. de Humboldt emploie la lieue marine de 20 au degré équatorial.

(3) Les principaux plateaux connus du globe peuvent être rangés comme il suit, d'après leur altitude :

	mètres		mètres.
Plateau de l'Auvergne.	339	Plateau de l'Afrique australe (rivière Orange).	1949
— de la Bavière.	506	— d'Abyssinie (Axum).	2159
— de l'Espagne.	682	— de Mexico.	2276
— du Mysore.	896	— de Quito.	2904
— de Caracas.	935	— du lac de Titicaca.	3911
— de Popayan.	1784		
— d'Abyssinie (lac Tzana).	1851		

Digitized by Google

plateau du Tibet, dont la hauteur moyenne peut être de 3,508 mètres. Les villages entre Ladak et Bashar, dans la Tartarie chinoise, n'atteignent que 3,654 mètres. La direction du bombement central de l'Asie paraît indiquer une des plus anciennes révolutions du globe, qui pourrait peut-être se rapporter au soulèvement du Westmoreland et du Hundsruck. L'axe de ce grand soulèvement prolongé au S.-O. se lie aux plaines élevées de l'Iran et de l'Arabie méridionale, et tout l'est de la Perse, entre Téhéran, Ispahan et Schiras (*Chiraz*), constitue un plateau de 1,169 à 1,364 mètres d'altitude.

M. de Humboldt distingue (p. 100), comme suivant assez généralement les parallèles à l'équateur, et par conséquent le grand axe géographique du continent asiatique, l'*Altaï*, les *Monts-Célestes* ou *Thian-chan*, le *Kouen-lun* et l'*Hindou-Kho*, le *Taurus* et l'*Himalaya*. Les autres systèmes de rides sont des chaînes méridiennes dirigées à peu près N., S., telles que l'*Oural*, les monts *Kouznetsk*, le *Bolor* et les monts *Soliman*.

Le Kouen-lun et l'Himalaya sont regardés par l'auteur comme deux branches d'un même filon, qui se sépareraient, puis parcourraient une direction différente. Or, la direction du Kouen-lun est exactement la même que celle de l'Hindou-Kho. Ainsi cette dernière et toute la chaîne jusqu'au Mazandéran et l'Elbourz, en Perse, sont distinctes de l'Himalaya, qui, comme on vient de le dire, est une bifurcation, tandis que le Kouen-lun est la continuation immédiate de l'Hindou-Kho. Cette disposition indique une crevasse ou un axe de soulèvement E., O. sur une très grande étendue. De même que dans les filons une branche latérale revient quelquefois courir parallèlement au filon qui a conservé son premier alignement, de même aussi la chaîne colossale de l'Himalaya, à 7° de distance de sa bifurcation, reprend, sur une longueur de 200 lieues, la direction E., O. du Kouen-lun et de l'Hindou-Kho. La chaîne suivie depuis l'Elbourz et le Démavend, en Perse, par l'Hindou-Kho et le Kouen-lun jusqu'au nœud de montagnes de Khoukhounor, à l'E., sur une distance de 48° de longitude, ou 776 lieues marines, est la plus longue chaîne du globe dirigée dans le sens d'un parallèle, et elle est égale à plus de la moitié de la chaîne des Andes, qui, dans l'Amérique du Sud, suit moins régulièrement le méridien.

La chaîne de l'Altaï (p. 257), dirigée moyennement E., O., est composée de plusieurs rides parallèles, et dont la direction se rapproche d'autant plus de celle que nous venons d'indiquer qu'elles sont situées plus au S. Dans la partie occidentale de la chaîne, elles L'Altaï.

Digitized by Google

se dirigent vers le N.-O. A la hauteur du lac de Telezk, règne un système de chaînes méridiennes; puis il y a un croisement des lignes de faîtes, et, sur ce point, sur-élévation de tout le massif. La plus haute sommité de l'Altaï, nommée par M. Gebler (1) le mont Bieloukha (*Mont Blanc*) ou colonnes de Katoune, paraît être une cîme inaccessible, formée de deux cornes entièrement couvertes de neige. Sa hauteur approximative, par des mesures trigonométriques, serait de 3,352 mètres, c'est-à-dire un peu plus que celle de l'Etna, et un peu moindre que celle du pic de Néthou, dans les Pyrénées.

Au S. et à l'O. les axes dominants sont dirigés E., O. ou S.-E., N.-O., et les couches suivent la même direction, mais au N.-E., les schistes, redressés régulièrement, courent comme les lignes de faîtes N.-N.-E., S.-S.-O., tandis que sur les bords du lac de Telezk leur direction est N., S.

Entre ce dernier et le lac Baïkal, on distingue trois chaînes : les monts Sayanes ou Ergik, le Tangnou et l'Oulangom. La chaîne Sayane (p. 347) forme une sinuosité prononcée vers le N., et à cette sinuosité correspond une crevasse S.-O., N.-E., une véritable vallée de soulèvement des fleuves Ouda et Lena. Cette fente est comparable à celles du lac Baïkal et de l'Irkout, qui lui sont à peu près parallèles, et par lesquelles se sont épanchées des roches volcaniques.

A l'extrémité orientale du système altaïque, au-delà du nœud de montagnes de Kentei, la direction S.-O., N.-E. domine d'une manière remarquable entre les méridiens du lac Baïkal et d'Okhotsk. Telle est aussi, d'après M. Erman, la position de l'axe des roches volcaniques dans l'archipel des îles Kourilles. Au-delà du parallèle de 56°, au nord de Krasnojarsk et de l'extrémité boréale du lac Baïkal, il existe une opposition remarquable entre la hauteur moyenne des deux Sibéries, contraste qui forme le trait le plus caractéristique de la configuration de l'Asie boréale.

Après avoir tracé les rapports des grands cours d'eau avec les diverses chaînes du système altaïque, depuis le promontoire du Schlangenberg jusqu'au nœud de montagnes du Haut-Kentei, M. de Humboldt traite de la chaîne de Kouznetsk (d'Alatau ou d'Abakansk),

(1) *Uebersicht des Katunischen Gebirges* (*Mém. de l'Acad. de Saint-Pétersbourg*, vol. III, p. 456. 1837. — Voyez aussi : *Dorrpater Jahrb.*, vol. III, p. 156. 1834.—Brokhaus, *Litter. Unterhaltungs-Blätter*, 1835, p. 101-103.

Digitized by Google

perpendiculaire à l'Altaï, qu'elle joint presque dans le méridien du lac de Telezk, et court S.-S.-E., N.-N.-O. Outre sa direction, qui est celle de l'Oural, elle présente encore, avec cette dernière chaîne, une grande analogie de composition, et les lavages d'or sont aussi très nombreux sur son versant oriental (1).

La chaîne méridienne de l'Oural (p. 63) partage en deux parties inégales la surface entière de la basse Europe et de la basse Asie. Dans les deux régions *trans* et *cis ouralienne*, les pentes se relèvent au S. Vers le point où ces deux régions se rapprochent et tendent à se confondre, au sud du parallèle de 50°, et à l'ouest de cet autre point, où la chaîne de l'Oural disparaît presque entièrement, les plaines sont interrompues par la concavité du bassin de la Caspienne, situé au-dessous du niveau de la mer Noire. Lors de la première émersion des masses continentales (p. 65), tant avant le soulèvement des chaînes sur des crevasses allongées que pendant la durée de ces grandes convulsions, la surface des plaines continentales avait souvent changé partiellement de niveau, et il est probable que ces plaines ont oscillé du même mouvement d'ondulation que celui que l'on observe encore sur une échelle infiniment moindre pendant les grands tremblements de terre. **L'Oural.**

Le système des montagnes de l'Oural est le plus grand soulèvement N., S. que nous offre le relief de l'Asie. C'est une chaîne presque entièrement isolée et continue (p. 412) sur une longueur de plus de 700 lieues, en regardant le plateau de l'isthme de Troukhmènes, entre l'Aral et la Caspienne, comme son prolongement sud, et les montagnes de la Nouvelle-Zemble comme sa continuation au nord; étendue qui est égale à celle de l'Europe, depuis la pointe méridionale du Péloponèse jusqu'au cap Nord.

Si l'on embrasse d'un coup d'œil le continent asiatique, depuis le cap Comorin jusqu'à la mer Glaciale, entre le 64° et le 75° long. orientale, on remarquera une succession d'accidents du sol, qui peuvent être ramenés à quatre chaînes méridiennes : les Ghates, la chaîne du Soliman, le Bolor et l'Oural. Les axes de ces soulèvements se trouvent à peu près parallèles entre eux, sans être pour cela le prolongement les uns des autres, et ils imitent, au contraire, mais sur une échelle infiniment plus vaste, le brisement des deux

---

(1) De Helmersen, *Der Telezkische see*, p. 26, 28, etc. — *Bull. de l'Acad. de Saint-Pétersbourg*, vol. II, p. 107. — *Ausland*, sept. 1837, p. 1072.

Digitized by Google

parties des Pyrénées. « Ainsi, depuis la péninsule de l'Inde jusqu'à » l'Océan Glacial, chaque nouveau surgissement ne commence que » dans la latitude que le surgissement qui précède n'a pas atteinte; » d'où il résulte que, par la discontinuité du relief, aucune des » chaînes méridiennes n'est opposée à l'autre de l'E. à l'O. Les axes » des chaînes sont alternes : ainsi les Ghates et le Bolor sont placés » plus à l'E. que le Soliman et l'Oural. C'est encore de l'inégalité des » espacements que les axes parallèles affectent dans leur disposition » alterne que naît l'obliquité de la zone entière, la direction S.-S.-E., » N.-N.-O., que présente une ligne géodésique tracée de l'extré- » mité des Ghates à l'extrémité nord de l'Oural... » Les deux traits les plus caractéristiques de tout le relief de l'Asie sont donc l'existence de ces failles S., N., et la continuité d'une même chaîne qui se prolonge de l'E. à l'O., par 35° et 36° 1/2 de latitude, depuis l'ancienne Lycie jusqu'à la province chinoise de Hou-péh, sous le nom de Taurus, d'Elbourz, de monts Ghour, d'Hindou-Kho et de Kouen-lun.

M. de Humboldt donne ensuite (p. 433) beaucoup de détails sur la trifurcation de l'Oural dans sa partie méridionale, et fait voir, par la position de dix points différents, que l'axe de la chaîne, sur 230 lieues de long, conserve à peu près la direction moyenne d'un méridien, et que dans cette étendue il n'oscille pas de 2° de longitude. L'auteur remarque aussi (p. 454) que dans les plaines à l'est de la chaîne, les couches anciennes sont redressées comme dans le centre de la chaîne même, circonstance qu'il avait également constatée dans plusieurs parties du globe, et qui lui fait soupçonner que le relèvement des couches a pu être quelquefois antérieur au soulèvement de la chaîne et résulter d'une dislocation plus ancienne. Nous verrons, en traitant de l'Oural sous le point de vue géologique, combien cet aperçu était juste.

Dans le nord de l'Oural, par 64° de latitude, la chaîne se trifurque comme au sud, et la branche occidentale paraît y être aussi la plus élevée comme dans la trifurcation méridionale. Les monts Obdores (*Obdorsk*) à l'E. sont dirigés S.-O., N.-E., et l'axe proprement dit de la chaîne se prolongerait à l'O. de ces montagnes dans la direction première S., N., à travers l'île de Waigats, et jusqu'au-delà du 76° de latitude. Les résultats géologiques du voyage de M. de Baer confirment tout à fait ces conclusions orographiques sur la continuité de tout le système central au nord dans la Nouvelle-Zemble.

De l'extrémité du plateau d'Oust-Ourt, au cap Nassau, dans cette dernière île, on aurait une distance de 592 lieues marines, mais il

Digitized by Google

n'y a guère que la moitié de cette longueur dont on connaisse avec quelque certitude les rapports d'élévation. Le point culminant serait le Konchakouskoi-Kamen, au nord de Bogoslofsk (59° 2/3 latitude) de 8,000 pieds ou 2,564 mètres de hauteur; puis viendraient l'Iremel (latit. 54° 1/2) de 1,721 mètres; un sommet des monts Obdores (67° 12′ lat.) de 1520 mètres, et le grand Taganaï (55° 23′ lat.) de 1,062 mètres, hauteur qui est aussi celle de la cime la plus élevée de la Nouvelle-Zemble. Mais nulle part les neiges perpétuelles ne se montrent dans cette chaîne.

Depuis la publication de l'ouvrage de M. de Humboldt (1843), la branche occidentale de la trifurcation nord de l'Oural, appelée monts Timans, et tout le bassin de la Petschora, situé à l'E. de cette chaîne qu'il sépare du prolongement de l'axe central, ont été explorés avec beaucoup de succès par MM. Paul de Krusenstern et le comte de Keyserling, dont les publications sur ces régions à peine connues viendront bientôt compléter les travaux récents sur le centre et le midi de l'Oural (1), auxquels le dernier de ces savants a pris une grande part avec MM. Murchison et de Verneuil.

(T. II, p. 136). Quoiqu'il n'y ait pas de chaîne continue entre l'Oural et l'Altaï, les principaux groupes de collines et de petites montagnes de la steppe des Kirghiz ont été soulevés à travers une même fissure qui forme aujourd'hui la ligne ou plutôt la bande de partage des eaux de l'Irtyche au N. et du Sarasou au S. Cette fissure E., O., a plus de 14° de longitude. C'est de cette fente, ou d'autres parallèles, que sont sortis les granites en couches sans être accompagnés de gneiss, les autres roches ignées et les substances métalliques plus particulièrement répandues dans le promontoire occidental de l'Altaï, d'où part ce système de failles. « J'ose affirmer, » dit M. de Humboldt (p. 136), qu'on reconnaît dans la steppe, sur » une bande comprise entre les 49° et 50° latitude, un effort de la » nature, une sorte d'essai des forces souterraines, pour faire surgir » une arête ou chaîne de montagne. »

Au point où se termine cette ligne, avant d'atteindre le sud de

(1) Nous recevons au moment où ces feuilles s'impriment la partie géographique et physique de l'ouvrage de MM. de Krusenstern et de Keyserling (*Wissenschaftliche beobachtungen auf einer Reise in das Petschora land*; in-4° avec 22 pl. de fossiles et 2 cartes, dont une coloriée géologiquement; Saint-Pétersbourg, 1846). Nous regrettons de n'en avoir pas eu plus tôt connaissance; mais nous aurons occasion de revenir plusieurs fois sur ce beau travail, dont la partie géologique et paléontologique est principalement due à M. de Keyserling.

l'Oural, se présente une région remarquable de lacs. C'est un sillon de 5° de largeur qui paraît avoir servi de communication entre le bassin aralo-caspien et la mer Glaciale (1). Ce dessèchement résulterait d'un manque d'équilibre entre l'évaporation et le volume des eaux apportées par les affluents. Quant à la grande dépression aralo-caspienne elle-même (t. I, p. 49), qui s'étend au-delà de Sarepta, au lac Elton et aux steppes du Bogdo, entre le Volga et le Jaïk, elle nous présente une masse continentale de près de 30 mètres au-dessous du niveau de l'Océan, ce qui serait en rapport avec le soulèvement du Caucase, de l'Hindou-Kho, du plateau de la Perse et peut-être avec celui de l'Asie centrale ; c'est, pour nous servir de l'expression de l'auteur, un *pays-cratère*.

Le Thian-chan. Le système de montagnes du Thian-chan ou Monts Célestes, s'étend de l'E. à l'O. sur 42° de longitude, se prolongeant à l'O. du Bolor, par la chaîne d'Asferah, jusque près de Samarkande. Plus loin, dans cette direction, M. de Humboldt est porté à regarder le Caucase comme le prolongement de la crevasse par laquelle se font jour les produits volcaniques du Thian-chan. Ces chaînes sont comprises entre le 41° et 44° de latitude, et le parallèle moyen de la partie centrale du Caucase, dirigée E.-S.-E., O.-N.-O., est à 42° 50′ de latitude (2).

D'après le dernier nivellement exécuté entre la mer Caspienne et la mer Noire, l'altitude du pic occidental de l'Elbrouz serait de 5,636m,61, celle du pic oriental de 5,613m,22, celle du Kasbek de 5,038m,25, et celle du Beschtau de 1,383m,81. Non seulement le

(1) La steppe des Kirghiz (*Arch. f. wiss. Kunde*, par Erman, 1843, vol. III, p. 704-725) serait le fond d'une ancienne mer qui ne communiquait pas avec la mer Noire, mais avec la mer Glaciale par le bas pays d'Omsk et la steppe de Barabinski. C'est lors de son écoulement du S. au N. qu'aurait eu lieu le charriage des grands animaux dont on retrouve les débris sur les bords de la mer Glaciale.

(2) Voyez une note de M. le baron de Meyendorf (*Bull.*, vol. IX, p. 230. 1838) sur la direction du Caucase, suivant deux crevasses parallèles entre elles, et sur les rapports de ces directions avec celle du cours du Dnieper, entre Kiew et Ekatérinoslaw; du Volga, entre Tzaritzin et Astrakhan; et de la Dwina, entre Witepsk et Riga, comme aussi sur le croisement d'un autre axe de soulèvement dirigé N.-E., S.-O., etc., etc... L'auteur conclut que la direction de la plupart des vallées de la Russie semble subordonnée à deux axes de soulèvement : celui du Caucase d'un côté, et de l'autre celui de la zone qui joint les Carpathes au système valdaïque. C'est, dit M. de Humboldt, une sorte de clivage qui caractérise ainsi une immense étendue de pays.

Digitized by Google

Caucase correspond par sa direction au Thian-chan, mais il offre aussi, dans sa masse trachytique, les sources thermales et les salses qui l'avoisinent, le même caractère de volcanicité.

(Vol. I, p. 425 et vol. II, p. 59). Le soulèvement de l'arête de l'Oural paraît être postérieur à la dépression aralo-caspienne; mais il n'en serait pas de même de la chaîne du Thian-chan, dirigée E., O. et de celle du Caucase E.-S.-E., O.-N.-O. qui lui est opposée. L'existence de la dépression aurait interrompu le surgissement linéaire et modifié à l'O. la direction de la crevasse. Mais nous n'apercevons pas bien la raison de cette influence, et cette dépression ne nous montre aucun prolongement des grandes failles de l'Asie centrale, l'Altaï ou le Thian-chan. Le Kouen-lun seul est continu, s'étendant par l'Hindou-Kho et l'Elbourz de Perse jusqu'au Taurus. Les chaînes méridiennes sont-elles d'ailleurs toutes plus récentes que les chaînes suivant les parallèles? C'est sur quoi il ne nous paraît pas possible d'avoir encore une opinion arrêtée.

Le Bolor.

(Vol. II, p. 377). La chaîne du Bolor ou Belourtagh, l'Imaüs des Anciens, court N., S. ou mieux N. 9° 16′ O., du 32° 1/2 au 45° 1/4 de latitude, sur une longueur de 260 lieues marines. Ses points culminants atteignent plus de 5,847 mètres, surtout vers les nœuds ou les entrecroisements avec les chaînes parallèles à l'équateur (Thian-chan, Kouen-lun). Les oscillations autour du méridien, qui dans l'Oural étaient vers l'O., sont à l'E. dans le Bolor, et beaucoup plus faibles. Il n'y a d'ailleurs en Europe aucune chaîne qui, sur une égale longueur, soit aussi régulière et suive une direction aussi constante. Comme l'Oural et la plupart des soulèvements longitudinaux, le Bolor se compose de chaînons à peu près parallèles entre eux et séparés par de hautes vallées ou par des plateaux. Le Tutucan-Moutcani, pic colossal situé entre les croisements de l'Hindou-Kho septentrional et méridional, paraît s'élever jusqu'à 6,237 mètres, et plus au nord le groupe de Pamir atteindrait aussi une très grande hauteur.

L'Hindou-Kho.

A l'ouest du Bolor, se trouvent quatre chaînes parallèles dirigées E., O. Celles qui suivent les 36° et 35° constituent le Caucase indien des Anciens; ce sont celles que M. de Humboldt nomme l'Hindou-Kho méridional et l'Hindou-Kho septentrional.

L'Himalaya.

Déjà nous avons parlé du Kouen-lun et de l'Himalaya. M. de Humboldt renvoie pour cette dernière chaîne au grand ouvrage de M. Ritter, et nous nous bornerons à citer les relations de quelques voyageurs qui l'ont visitée plus récemment.

Digitized by Google

M. Hutton, dans un rapport géologique sur la vallée de Spiti (1), a décrit celle du Setledje, dont le cours est souvent resserré entre des murailles à pic que dominent des sommités neigeuses. La chaîne centrale de l'Himalaya court E.-S.-E., O.-N.-O., envoyant dans diverses directions des rameaux coupés et divisés par des vallées nombreuses, profondes et à pentes escarpées, résultant du brisement des couches. M. J.-D. Herbert (2), dans un autre rapport sur cette même chaîne, fixe la hauteur du Dhawalagiri ou *Montagne-Blanche*, à 27,000 pieds anglais (8,229 mètres). De cette sommité aux montagnes neigeuses du Caboul ou l'Hindou-Kho, le plan passant par les cimes ne s'abaisse pas sur de très grandes étendues au-dessous de 21,000 pieds (6,400 mètres). Ainsi, sur une longueur de 500 milles qui sépare ces sommets, on a une ride continue, dont la hauteur verticale a près de 5 milles ou 6 kilomètres 1/2. On peut même admettre, dit M. Herbert, qu'elle se prolonge encore sur un espace double ou de 1,000 milles. L'auteur donne ensuite beaucoup de détails orographiques et hydrographiques sur ce grand massif montagneux.

Montagnes de l'Inde.

M. de Humboldt (3), après avoir esquissé la position et les rapports généraux des quatre systèmes E., O. de l'Asie centrale (l'Altaï, le Thian-chan, le Kouen-lun et l'Himalaya), et fait voir que les trois derniers ont leur limite orientale à peu près sur le prolongement du méridien de Canton, tandis que les systèmes N., S. s'avancent dans les basses latitudes beaucoup plus à l'E., puisqu'ils forment la péninsule de Malacca, rappelle que la chaîne de Vindhya, au nord de la Nerbuda (*Nerbuddah*) (p. 204), court au S. 75° O.; et tandis que les dérivations des autres chaînes sont plutôt vers le S.-E., les chaînes méridiennes, au contraire, inclinent vers le S.-O. La chaîne de Vindhya n'est point d'ailleurs plus élevée que les Vosges, et le plateau de Malva, couvert de basalte et d'amygdaloïdes, lui est adossé vers le nord. Une autre chaîne, presque parallèle, borde la rive gauche de la Nerbuda, c'est celle des monts

(1) *Journ. asiat. Soc. of Bengal*, vol. X, p. 198. 1840.

(2) *Ibid.*, vol. XI, p. 605. — Voyez aussi : *Remarks on the geology*, etc. Remarques sur la géologie des pays entre Bhar et Simla, par M. Clerk (*Journ. asiat. Soc. of Bengal*, vol. VIII, p. 901). — *Some account*, etc. Relation d'une visite à la plaine de Koh-i-Daman, du district des mines de Garbaud et du passage de l'Hindou-Kho, par M. Lord (*ibid.*, vol. VII, p. 521).

(3) *Asie centrale*, vol. I, p. 190.

Digitized by Google

Gondwana et Sat-pura. Enfin, une troisième chaîne, encore parallèle et peu connue, celle des monts Sehsa, s'appuie vers l'O. à la chaîne presque méridienne des Ghates du Malabar.

En résumant les nombreuses rides méridiennes qui bordent à l'O. l'Asie intérieure, depuis le cap Comorin jusqu'au-delà du littoral de la mer Glaciale, on peut remarquer aussi qu'à la grande faille méridienne des Ghates et du Bolor correspondent, dans l'Inde extérieure ou *trans-gangétique*, les failles méridiennes qui marquent dans le Haut-Assam le croisement de différents systèmes, croisement qui donne naissance aux chaînes parallèles de la Cochinchine, de Siam, de Malacca, d'Ava et d'Aracan, lesquelles aboutissent toutes, dans leur cours d'inégale longueur, aux golfes de Siam, de Martaban et du Bengale.

Les deux systèmes méridiens et opposés qui bordent ce dernier golfe sont accompagnés symétriquement, vers leur extrémité et à leur pente sous-marine occidentale, de traînées d'innombrables îlots dirigés N., S. Ainsi, à l'O. de la chaîne de Malacca, les îles Andaman et Nicobar ; à l'O. de celle des Ghates, les îles Laquedives, Maldives et Chagos sont les manifestations de rides parallèles, de longues crevasses sur lesquelles ont surgi, au fond de l'Océan, des roches ignées et volcaniques, dont les sommets, à la suite des siècles, ont été couverts de coraux (1).

---

(1) M. Newbold (*Soc. philomatique de Paris*, 27 mai 1843. — *L'Institut*, id.) a donné un *Essai de classification des montagnes de l'Inde*. Il divise ces montagnes en cinq régions, d'après la direction générale des axes de soulèvement et des lignes d'écoulement des eaux dans chacune d'elles. Première division : de l'Himalaya ou Inde septentrionale, direction O. 26° N ; les eaux courent à l'O. et au S. par le Gange et le Brahmaputra. Deuxième division : de Vindhya ou de l'Inde centrale, dirigée O. 5° S. ; les eaux coulent dans le même sens. Le système de soulèvement de Vindhya oblige les eaux qui descendent de l'Himalaya à se rejeter à l'E. Troisième division : des Ghates ou Inde méridionale, orientés N. 5° O. ; les eaux s'écoulent à l'E. et au S., vers la baie du Bengale, par le Mahanuddi, le Godavery, la Kisnah, etc. Quatrième division : de l'Indus ou Inde occidentale, flanquant les divisions de l'Himalaya et de Vindhya ; les eaux, dirigées au S., un peu O., sont déterminées de ce côté par l'élévation de l'Hindou-Kho, qui court à l'O. Cinquième division : de la Malaya ou de l'Inde au-delà du Gange, comprenant la péninsule de Malacca, une partie de Siam et des Birmans. Cette ligne d'élévation, qui part de l'Himalaya, suit une direction N., S., parallèle à celle de l'Inde

Digitized by Google

Parmi les chaînes méridiennes du nord-est et des mers du Japon se trouve celle de Khingan ou de Khang-kaï, qui s'étend de la grande muraille de la Chine au-delà de l'Amoûr, formant la ceinture orientale du désert de Gobi. Au nord des 48° et 50° latitude, la direction S.-O., N.-E. commence à prédominer, comme nous l'avons vu en parlant de la partie orientale de l'Altaï (1).

Revenant ensuite à l'O. et rappelant ce que M. de Buch (2) avait déjà dit sur la fréquence remarquable des alignements N. O, S.-E. dans l'Europe occidentale, M. de Humboldt fait voir (vol. I, p. 285) que l'on doit être également frappé de cet autre grand système de failles qui, par les golfes Arabique et Persique, le long du Tigris (*Tigre*) ou plutôt du système de Poushti-Koh (chaîne de Zagros ou monts de Louristan), se dirige de la mer de l'Inde vers l'embouchure de l'Elbe. La direction de ces failles ou crevasses a permis à l'Océan de pénétrer dans l'intérieur du continent et a donné lieu à des accidents de terrain qui ont puissamment favorisé la marche de la civilisation des peuples de l'O. Mais cette direction opposée, à angle droit, au grand axe de l'Europe qui est N.-E., S.-O., parallèle à la côte orientale de l'Asie et à celle de l'Amérique, des Florides au Groenland, est l'effet d'une action de l'intérieur du globe vers la croûte extérieure, d'un fendillement du sol ébranlé du S.-E. au N.-O., et postérieur au soulèvement de l'Europe continentale; enfin la même action est signalée par le croisement de deux systèmes de lignes géodésiques N.-E., S.-O. et S.-E., N.-O.

Hauteur moyenne des continents. Nous terminerons cet exposé succinct de la partie orographique du grand travail de M. de Humboldt par le résultat de ses recherches et de ses calculs relativement aux masses continentales, consi-

---

méridionale. Ses eaux s'écoulent de l'E. à l'O. dans la mer de la Chine et le détroit de Malacca.

(1) M. Hillebrand (*Ausland*, 1846, n° 67, p. 275-276) a traversé le fond de la grande vallée (Mer d'Eo des Chinois), qui s'étend du lac Balkhasch vers les sources de l'Amoûr. Cette dépression, que l'auteur compare à la Méditerranée, aurait écoulé ses eaux en Sibérie, entre l'Altaï et le Thian-chan, par les bas-fonds où sont les lacs d'Alagol, Alektogol et Balkhasch. Plusieurs chaînes actuelles y formaient des îles. Les déserts de Qerkeng et de Gobi présentent partout les traces d'une mise à sec assez récente, et leurs bords ont tous les caractères de plages marines.

(2) *Ueber die geog. syst. von Deutschland.*—L. v. Buch, *Resultats der Forsch.*, n° XI, et *Descrip. phys. des îles Canaries*, p. 393-402.

Digitized by Google

dérées par rapport à leur volume au-dessus du niveau des mers ou à leur remblai général, au moyen d'un nivellement de leurs aspérités. Nous y joindrons aussi quelques détails que l'auteur avait donnés auparavant sur le même sujet, dans une communication faite à l'Académie de Berlin (1).

Dès 1825, M. de Humboldt avait publié deux mémoires ayant pour objet la hauteur moyenne des continents et l'évaluation du volume des arêtes de soulèvement, comparées à l'étendue de la surface des basses régions (2) ; mais ici, partant de cette assertion de Laplace (3), que la hauteur moyenne des continents ne dépassait pas 1,000 mètres et représentait la profondeur moyenne des mers, il s'attache à démontrer que cette dernière évaluation est beaucoup trop élevée.

Déterminer la hauteur moyenne de l'élévation des continents au-dessus du niveau actuel des mers, c'est, comme on sait, trouver le centre de gravité de la portion du volume des continents qui est au-dessus de ce niveau ; ce qui est d'ailleurs fort différent du centre de gravité du volume de la masse continentale, ou du centre de gravité des masses, parce que la portion de la croûte terrestre que nous envisageons a une densité moindre. On considère alors chaque chaîne de montagnes comme un prisme triangulaire posé horizontalement. La hauteur moyenne des cols ou des passages, qui détermine celle de la crête des montagnes, est la hauteur de l'arête du prisme au-dessus de sa base qui représente celle de la chaîne. Quant aux plateaux, ils sont calculés comme des prismes droits.

En commençant ses recherches par l'Amérique méridionale, M. de Humboldt trouve (vol. I, p. 84) que les plaines des deux côtés de l'Amazone ne seraient élevées que d'environ 155 mètres, si l'on répartissait la masse des Cordillères sur leur surface qui est de 437,000 lieues carrées. En évaluant à 400,000 lieues carrées les plaines de la Sibérie, dont la hauteur moyenne est de 78 à 84 mètres, et en prenant pour hauteur moyenne du plateau de Gobi 1,285 mètres, les 42,000 lieues carrées de ce plateau élèveraient les basses régions sibériennes de 136 mètres, et l'effet sur l'Asie entière qui a 1,346,000 lieues carrées ne serait que de 39 mètres. L'effet total

---

(1) *L'Institut*, n° 471. 1842. — *Ann. des sc. géol.*, vol. I, p. 1026. 1842.
(2) *Mém. de l'Acad. des sciences*, 1825.
(3) *Mécanique céleste*, vol. V, liv. XI, chap. 1, p. 3.

Digitized by Google

produit à la fois par le Caucase, l'Hindou-Kho et le Taurus, par le plateau de l'Ararat, entre Erzeroum et Tabriz (Tauris), par le massif de la Perse, par l'Oural et l'Altaï, n'atteint pas encore 37 mètres. Les chaînes de l'Himalaya et du Kouen-lun, et le plateau de 3,500 mètres qui les sépare, constitueraient la masse la plus considérable, et son effet sur l'Asie entière serait de 109 mètres. Le centre de gravité du volume des terres asiatiques élevées au-dessus de la surface actuelle des mers ne dépasse probablement pas 350 mètres.

En Asie, les basses plaines ne forment guère qu'un tiers de la superficie totale; mais dans le nouveau monde, du golfe du Mexique à la mer Polaire, on a des plaines continues dont les points culminants n'ont que 155 à 195 mètres de hauteur, et dont l'étendue surpasse celle de l'Europe entière. Le massif des montagnes du Mexique et de Guatémala, couronné de larges plateaux et reposant sur une base de 42,000 lieues carrées, agirait, en le répartissant sur la superficie totale de l'Amérique du Nord, à peu près un tiers de moins que la Cordillère des Andes sur la surface de l'Amérique du Sud. La hauteur moyenne des terres continentales de la première des deux Amériques serait de 227 mètres, et celle de la seconde de 344 mètres.

Les plaines de l'Europe forment plus de la moitié de sa surface, qui est de 304,700 lieues carrées; or, si la masse des Pyrénées qui a 768 lieues carrées de base n'augmente celle de la France que de 35 mètres, ainsi que l'a établi M. de Charpentier, combien l'effet de cette chaîne, joint à celui du système des Alpes, du plateau de la Castille avec la Sierra-Nevada, les Apennins et la péninsule montagneuse de la Scandinavie, sera-t-il encore faible sur l'Europe entière! En effet, la hauteur moyenne de tout le continent européen, qui n'est à proprement parler qu'un prolongement péninsulaire de l'Asie, est très probablement au-dessous de 214 mètres (110 toises) (1). C'est en France la hauteur de Nancy et de Verdun (2).

D'après ce qui précède, le centre de gravité du volume des terres

(1) M. de Humboldt écrit ici 110 toises au lieu de 105.

(2) Pour la France en particulier, les calculs que M. de Humboldt a faits en commun avec M. Élie de Beaumont ont donné les résultats suivants: effet des Pyrénées, 35 mètres; des Alpes françaises, du Jura et des Vosges ensemble, 39 mètres; du plateau central, avec le Morvan et la Côte-d'Or, 35 mètres; la hauteur normale du plan du royaume, dans son maximum, 156 mètres; d'où il suit que la hauteur moyenne de la France ne dépasse pas 265 mètres.

Digitized by Google

continentales se trouverait placé en Asie à 351 mètres ; dans l'Amérique du Sud, à 344 mètres ; dans l'Amérique du Nord, à 227 mètres ; dans les deux Amériques réunies, à 284 mètres ; en Europe, à 204 mètres de hauteur au-dessus de la surface actuelle des mers, ce qui donnerait pour maximum de ces continents réunis à peu près 308 mètres (1). M. de Humboldt n'a point compris l'Afrique ni l'Australie dans ses calculs, probablement à cause du manque de données hypsométriques suffisantes.

Il résulte, en outre, de ces chiffres, que dans notre hémisphère les moindres hauteurs appartiennent aux masses continentales du Nord. Ainsi, l'Europe fournit 204 mètres, l'Amérique du Nord 228, et l'intumescence de l'Asie, entre les 28° et 40° de latitude, compense l'effet soustractif des parties basses de la Sibérie. L'Asie et l'Amérique du Sud donnent 350 à 344 mètres, nombres qui font voir dans quelle partie de la surface du globe la réaction de l'intérieur s'est fait sentir avec le plus d'intensité lors des anciens soulèvements. Il nous semble qu'ici encore l'observation et les calculs sont venus confirmer ce que l'on aurait pu conclure, *à priori*, de l'origine du globe et de son mouvement de rotation, savoir, que les renflements les plus prononcés devaient se trouver dans la zone équatoriale ou dans les parties des zones tempérées qui l'avoisinent.

La disposition des chaînes de montagnes, différente dans l'ancien continent et dans le nouveau, a sensiblement influé sur la répartition des animaux, et même sur les relations et les migrations humaines (p. 96). Dans l'ancien monde, la direction des chaînes, la configuration extraordinaire de l'Asie centrale, l'existence du bassin de la Méditerranée et la chaîne littorale de l'Atlas séparent les climats et les productions ; dans le nouveau monde, au contraire, les phénomènes météorologiques, comme les phénomènes de la vie, sans en exclure les races humaines, tendent davantage à se confondre et à franchir de vastes surfaces dans la direction des méridiens.

En Asie et en Amérique, la distribution des systèmes de monta-

(1) Plus loin, à la page 181, où l'auteur revient sur ce sujet, on trouve 345 mètres au lieu de 344 pour l'Amérique du Sud ; 228 au lieu de 227 pour l'Amérique du Nord ; 205 au lieu de 204 pour l'Europe ; et, page 182, il y a 307 au lieu de 308 pour les trois continents. Ces différences sont-elles dues à des corrections ou à des fautes typographiques ? C'est ce que nous ne savons pas. Ce sont ces derniers chiffres qui ont aussi été donnés dans la communication à l'Académie de Berlin.

Digitized by Google

gnes ne contraste pas moins que celle des régions basses. En Amérique, les Andes réunissent, sous une zone étroite mais dont la longueur est de 3,000 lieues, tous les sommets qui ont plus de 2,700 mètres d'élévation. En outre, tous les systèmes de montagnes situés dans les deux Amériques à l'E. des Andes et réunis en cinq groupes ont tous une hauteur moyenne de 974 à 1,364 mètres, et des points culminants de 2,000 à 2,500 mètres qui n'atteignent nulle part la limite des neiges perpétuelles, sur une surface cependant deux fois plus grande que l'Europe. Quant à ce dernier continent, on voit que, malgré sa faible étendue, son orographie est infiniment plus compliquée que celle des deux Amériques.

§ 2. Orographie particulière.

Scandinavie. M. Keilhau, dans la seconde partie du *Gæa Norwegica* (1), a donné un tableau des hauteurs d'après les travaux de M. A. Vibe, mais les sommités les plus élevées de la chaîne scandinave n'ont pas encore été déterminées avec toute la précision possible. On a employé concurremment les méthodes trigonométriques et barométriques. Les plus hautes cimes de la Scandinavie appartiennent au groupe du Joetunfjelde, situé au S.-O. de Nautgardstinden, entre le lac Gjen et la vallée qui borde Mugnafjeld (Kalvaahoegda); au N. Broch estime leur hauteur à 8,200 pieds rhénans (3,229 mètres). Le Ymesfjld (Store-Galdhoepiggen), probablement la plus haute sommité du groupe du Joetun, et situé entre la Leera-Elo et le Visa-Elv, est le plus haut point de toute la Scandinavie. Il atteint près de 200 mètres de plus que le Glittertinden, et a par conséquent 8,550 pieds rhénans (3,380 mètres). Le Skagstoelstind aurait aussi 8,400 pieds rhénans (3,320 mètres).

Les Alpes. Les Alpes, cette grande énigme de la nature, placée au milieu de l'Europe civilisée, et à laquelle tant d'hommes éminents ont déjà consacré leurs recherches et leurs méditations, présentent dans leur relief si accidenté un sujet d'étude toujours intéressant. Nous en traiterons d'une manière détaillée en parlant de la composition géologique de ces montagnes, et nous nous bornerons à rappeler ici quelques dispositions particulières indépendantes de la nature des roches.

(1) *Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXXVIII, p. 232. 1845.

Digitized by Google

M. Élie de Beaumont (1) a signalé, sous le nom de montagnes de l'Oisans, trois massifs assez distincts, tant par leur disposition physique que par leur composition minéralogique. Celui de ces massifs qui forme le sujet principal de son mémoire, détaché en avant des deux premiers, sépare le bassin de la Romanche de celui de la Durance et des sources du Drac. Sa cime la plus élevée (la pointe des Arsines ou des Écrins), qui couronne le mont Pelvoux, situé entre le Val-Louise et Saint-Christophe, a 4,105^{m},1 d'altitude; c'est le point le plus élevé de toute la France.

Passant ensuite à la structure générale des groupes de montagnes qui entourent circulairement le hameau de la Bérarde, l'auteur décrit les pentes intérieures et abruptes qui forment des escarpements à pic, tandis que les talus extérieurs, en pentes assez douces, permettent l'amoncellement des neiges. Par suite de ces faces à pic, tournées toujours vers le centre de ce vaste amphithéâtre naturel, le profil de chaque partie de la grande enceinte circulaire de la Bérarde rappelle complétement, dit M. de Beaumont, celui d'une section du cratère du Vésuve; mais rien n'indiquant que le gneiss qui forme ses parois ait coulé comme une lave, il en résulte que la disposition cratériforme, même très prononcée, n'est pas nécessairement l'indice d'un cône d'éruption antérieur.

La chaîne des Rousses, située au N.-O. du massif précédent, a été décrite par M. Dausse (2), qui la dépeint ainsi : Cette haute chaîne s'élève comme une muraille colossale, dont la crête, qui d'abord appelle le regard, présente une arête continue, tranchante, çà et là plus ou moins dentelée, et paraissant suivre une ligne à peu près droite sur une étendue considérable. Les longs escarpements ou talus relevés qu'elle couronne sont tellement abruptes, que les neiges ne peuvent s'y maintenir; elles glissent et s'amassent au pied de ces escarpements dont elles dessinent les contours.

Ces neiges éternelles et des lambeaux de glaciers qui pendent par quelques échancrures font ressortir encore l'élévation extraor-

---

(1) *Faits pour servir à l'histoire des montagnes de l'Oisans* (*Ann. des mines*, 3^{e} sér., vol. V, p. 3. 1834. — *Mém. pour servir à une descrip. géol. de la France*, vol. II, p. 339. 1834).

(2) *Essai sur la formation et la constitution de la chaîne des Rousses en Oisans* (*Mém. de la Soc. géol. de France*, vol. II, p. 125. 1837, avec carte géol. et coupes).

Digitized by Google

dinaire de cette crête : elle atteint près de 3,000 mètres au-dessus du spectateur qui n'en est guère éloigné que d'un myriamètre. L'altitude du point culminant de cette chaîne, la *Pointe de l'Étendard*, est de 3,629 mètres.

Dans son *Aperçu général de la structure géologique des Alpes* (1), M. Studer divise ces montagnes par groupes formant autant de masses centrales distinctes qui courent, pour la plupart, dans une même direction, mais qui, souvent aussi, sont disposées obliquement les unes par rapport aux autres. Quoiqu'il n'ait pas encore pu déterminer les limites de toutes les masses centrales de ce grand système, M. Studer y reconnaît déjà six massifs principaux, qui sont ceux du Mont-Blanc, des Aiguilles-Rouges, de la Dent-Blanche, du Mont-Rose, du Saint-Gothard, puis du Finsteraar-horn, le plus puissant de tous, et celui qui exerce l'influence la plus prépondérante sur le relief de la Suisse.

M. S. Gras (2) a aussi tracé quelques uns des caractères physiques de la portion de la chaîne qu'il a particulièrement étudiée, et M. Rendu (3), lors de la réunion de la Société géologique de France à Chambéry, au mois de septembre 1844, a présenté, sous forme de questions, les observations suivantes : 1° La chaîne des Alpes offre, à l'E., l'aspect d'une grande muraille, au pied de laquelle commencent des plaines et de basses collines tertiaires ; tandis qu'à l'O. la pente plus douce est ménagée par une série de montagnes qui diminuent de hauteur à mesure qu'elles s'éloignent de la cime principale ; 2° à l'O., toutes les chaînes secondaires plus ou moins rapprochées sont parallèles entre elles et à la chaîne principale cristalline ; 3° elles sont d'autant plus élevées qu'elles sont plus rapprochées de cette dernière ; 4° leurs couches inclinent aussi à l'E. ou de ce côté, tandis qu'elles sembleraient devoir incliner du côté opposé, et les couches de la chaîne des Alpes qui avoisinent le plus son axe cristallin sont, au contraire, relevées vers lui.

Nous ferons remarquer que ces propositions, en les supposant toutes exactes dans leur généralité, ce que nous n'avons point à examiner ici, sont loin d'être particulières aux Alpes, et que plusieurs d'entre elles sont applicables à d'autres chaînes ; nous dirons

---

(1) Notice qui est *précédée de quelques observations générales*, par M. Desor (*Bibl. univ. de Genève*, mars 1842).

(2) *Bull.* 2e sér., vol. I, p. 696. 1844

(3) *Ibid.*, p. 751.

Digitized by Google

donc, avec toute la réserve que le sujet comporte et en reprenant les propositions dans le même ordre : 1° que dans un soulèvement, même linéaire, il n'y a point de nécessité absolue que les deux versants soient également inclinés; l'un des côtés de la crevasse peut avoir été élevé seul, comme dans le cas de certaines failles, et l'autre rester horizontal ou à peu près; 2° que le parallélisme des chaînes secondaires et de la chaîne principale peut provenir de ce que des soulèvements ont eu lieu à des époques très différentes, suivant les mêmes lignes ou dans la même direction, ce dont on connaît aujourd'hui de nombreux exemples; 3° que le dernier soulèvement a pu se faire encore dans le même sens que quelques uns des précédents, et qu'en élevant alors la chaîne cristalline à une très grande hauteur, les chaînes secondaires ont dû participer à ce dernier mouvement en raison inverse de leur éloignement; ce qui n'empêche pas que ces dernières ne soient le résultat de dislocations antérieures particulières et indépendantes; l'explication de cette troisième proposition se lie d'ailleurs à celle de la première; 4° que c'est une circonstance très fréquente que le plongement des couches vers l'axe de soulèvement principal ou le plus récent, disposition que l'on a attribuée, peut-être sans preuve suffisante, au basculement des strates dans des cavités produites le long de la chaîne lors du soulèvement. On conçoit que dans ce cas les couches immédiatement appliquées contre la masse soulevante ont dû être élevées avec cette dernière et s'y trouvent encore adossées, tandis que la brisure a eu lieu parallèlement à une certaine distance; et que c'est à partir de cette brisure que les couches ont pu s'enfoncer et incliner en sens inverse ou vers la chaîne. Cette explication des deux dernières propositions de M. Rendu pourrait même s'appliquer à la disposition en éventail, si fréquente et encore si problématique.

La surface du Jura prise dans son ensemble, dit M. Rozet (1), peut être comparée à un immense plan incliné, qui aurait été soulevé en tournant autour d'une charnière placée à l'extrémité de son versant occidental, dans la plaine de la Saône. Cette charnière, située au pied de petites collines rattachant les montagnes à la plaine, est élevée de 200 à 230 mètres au-dessus de la mer; l'arête soulevée qui regarde les Alpes et borde le bassin du Léman, atteint jusqu'à 1,700 mètres d'altitude, ou 1,470 mètres au-dessus Le Jura.

(1) *Bull.* vol. VI, p. 196. 1835.

Digitized by Google

de la charnière. Entre ces deux lignes extrêmes il en existe plusieurs autres constituant les crêtes d'une série d'escarpements qui s'élèvent graduellement à mesure qu'ils se rapprochent de l'arête culminante vers l'E. Ces escarpements forment des gradins disposés les uns au-dessus des autres, comme des marches d'escalier, et M. Rozet en signale neuf principaux, lorsqu'en partant de Poligny on se dirige à l'E.-S.-E., perpendiculairement à leurs crêtes.

Les Vosges. M. Élie de Beaumont (1) a fait précéder son excellente description géologique de la chaîne des Vosges d'un tableau aussi pittoresque qu'élégant et précis des caractères physiques de ce groupe. Les Vosges, dit-il (p. 282), considérées dans leur ensemble, présentent deux espèces de montagnes, qui se distinguent avant tout par la forme de leurs profils : les montagnes arrondies qui occupent, dans la partie méridionale du groupe, un espace triangulaire dont les trois angles sont situés aux environs de Massevaux, de Remiremont et de Schirmeck, et les montagnes aplaties, à formes carrées, composées de grès, qui constituent toute la partie septentrionale, et qui, de plus, forment trois files ou rangées disposées sur les côtés du triangle qu'occupent les premières.

Les Maures et l'Esterel. Le même savant a tracé, de la manière suivante, l'aspect des collines littorales du département du Var, qui s'étendent sur une longueur d'environ trente lieues, de Toulon à Antibes (2). « Ces » collines, dit-il, entassées les unes à côté des autres, se groupent » en deux masses distinctes, vers le milieu de chacune desquelles » elles s'élèvent assez pour être considérées comme de véritables » montagnes. Ces deux masses sont séparées l'une de l'autre par la » vallée large et plate que suit la rivière d'Argens pour se jeter dans » la mer, et où se trouve la ville de Fréjus. La plus méridionale de » ces deux masses est connue sous le nom de *montagnes des Maures*, et l'autre sous le nom de *montagnes de l'Esterel*.

» Ces deux masses, dont la composition offre de notables différences, se distinguent même de loin par les formes de leurs contours. Les montagnes des Maures sont généralement arrondies, » comme on le voit dans celle de la Garde-Frainet; tandis que » celles de l'Esterel ont, dans leurs parties les plus saillantes, des

(1) *Explication de la carte géol. de la France*, vol. I, chap. V, p. 267. 1841.
(2) *Ibid.*, chap. VI, pp. 438.

Digitized by Google

» contours abruptes et anfractueux, dont le cap Roux offre un » exemple remarquable. »

Après l'*Essai sur la constitution géognostique des Pyrénées* dû aux longues recherches et à la sagacité de M. de Charpentier, on ne pouvait guère attendre que des observations locales sur le relief de cette chaîne, d'ailleurs parfaitement mesurée par M. le colonel Corabœuf, et sur laquelle aussi M. L. Bruguière avait rassemblé une foule de documents hypsométriques. Cependant la sommité la plus élevée n'avait jamais été atteinte; sa hauteur n'avait encore été donnée que par des moyens géodésiques, et il était réservé à un hardi voyageur russe, M. Platon de Tchihatcheff (1), accompagné de deux Français, MM. de Franqueville et Laurent, d'atteindre le premier la cime du pic de Néthou (Anethou ou Netou), point culminant de la Maladetta, et d'y observer la hauteur du baromètre, au mois de juillet 1842. Cette mesure, répétée dans deux ascensions consécutives, a donné pour l'altitude de ce point 3,370^{m},9, c'est-à-dire 33^{m},1 de moins que par la méthode trigonométrique de M. Corabœuf, et 77^{m},8 également de moins que par celle de MM. Reboul et Vidal. Pyrénées.

M. V. Raulin, dans la *Géologie de la France*, travail inséré dans l'ouvrage intitulé *Patria* (p. 290), a donné un résumé succinct, mais très clair et fort bien fait, de l'orographie du royaume divisé en régions naturelles.

On doit à M. Haussmann (2) quelques nouveaux renseignements sur le système déjà assez bien connu (3) de la Sierra-Nevada, dans la province de Grenade. Cette chaîne est dirigée E., O., et ses points culminants, le Cerro ou Cumbre de Mulhacen et le Veleta, situés à peu près vers le milieu de la longueur, atteignent 3,609 à 3,525 mètres d'altitude (4). La largeur de tout le système, relativement à la grande élévation de la chaîne principale, est beaucoup moindre que dans les Alpes et les Pyrénées; aussi les pentes y sont-elles plus rapides. En outre, ces dernières sont inégalement incli- Sierra-Nevada.

(1) Voyez pour la relation de cette ascension : *l'Institut*, n^{os} 6, 13, 20 et 27 oct. 1842. — *Otetschestwen sapiski*, ou Notice nationale. 1842.

(2) *Sur le système de la Sierra-Nevada* (*Gottingische gelehrte*, etc., 1841. — *Ann. des sc. géol.*, vol. I, p. 253. 1842.

(3) Voyez Bruguière, *Orographie de l'Europe*, in-4. Paris, 1830, p. 7.

(4) D. Rojas Clémente avait obtenu par des mesures trigonométriques 3,554 mètres pour le premier point, et 3,470 pour le second.

Digitized by Google

nées, celle du nord étant plus abrupte que celle du sud. Les Alpuxares (Alpujarras) ou chaînon parallèle, placés au S., sont bordés par la mer. Au N., tout le système se termine d'une manière brusque et aboutit à des plaines de 600 mètres d'élévation, comme celle de Grenade. A l'E. et à l'O. les limites de la chaîne sont moins bien arrêtées.

Montagnes de la Turquie d'Europe.

Les accidents orographiques et hydrographiques de la Turquie d'Europe ont été mis dans tout leur jour, par suite des voyages de MM A. Boué et Viquesnel. M. Boué, dans le premier volume de son grand ouvrage (1) que nous aurons souvent occasion de rappeler, à cause de la multitude de documents précieux qu'il renferme, a donné des détails aussi nombreux que précis sur la distribution des chaînes de montagnes, des plaines et des bassins hydrographiques, d'abord du Monténégro, de la Bosnie, de l'Herzégovine et de l'Albanie; puis de la Thrace, de la Bulgarie et de la Valachie. Passant ensuite à la Servie, à la Mœsie supérieure et à la Macédoine, il termine par la chaîne de la Thessalie, partie la plus méridionale de la Turquie d'Europe et qui confine au royaume de Grèce.

Les systèmes de montagnes (t. I, p. 210) paraissent se réduire, en Turquie, à sept ou huit, savoir : le système occidental, dirigé du N.-O. au S.-E. ; le système N., S. ou N.-N.-O., S.-S.-E., dans le centre de l'empire ; le système O. 3° N., E. 3° S. du Balkan ; le système O.-N.-O., E.-S.-E. du Despoto-Dagh et du Kara-Dagh ; le petit système N.-N.-E., S.-S.-O., dans la Servie orientale ; celui N.-E., S.-O. du Schar, et celui O. 2° S., E. 2° N., à la jonction du Rhodope et de l'Hœmus. Les crêtes du système occidental et celles du Despoto-Dagh atteignent les plus grandes hauteurs (2,600 à 2,900 mètres) ; celles du Schar et de la partie méridionale du système N., S. viennent ensuite et sont suivies par les montagnes du Balkan, du système N.-N.-E., S.-S.-O., et par celles des autres systèmes.

« Parmi tous ces systèmes de rides, dit M. Boué, aucun ne » forme réellement une chaîne centrale de la Turquie, quoiqu'il » n'y manque pas de grandes arêtes traversant le pays de l'O. à l'E., » aussi bien que du N. au S. Ces dernières peuvent passer pour la » crête de partage, entre les bassins de la mer Adriatique et de la » mer Egée ; tandis que les autres séparent ceux de la mer Noire et

(1) *La Turquie d'Europe*, 4 vol. in-8, avec une carte. Paris, 1840.

Digitized by Google

» de la mer Égée. Pour parler plus explicitement, il y a entre les » deux premières mers une série de rides échelonnées à l'O. et à » l'E., depuis une ligne de hauts faîtes ; mais entre les deux der- » nières cavités sont deux séries d'arêtes séparées par une vaste » échancrure occupée par la Thrace, la Haute-Mœsie et la Macé- » doine septentrionale..... Si donc on voulait absolument chercher » des chaînes centrales en Turquie, on ne pourrait que regarder » comme telles, pour l'ouest, l'arête de faîte des rides N.-O., S.-E.; » pour le centre du pays, la chaîne méridionale de la Servie et la » chaîne O., E., au milieu de la Macédoine ; et pour l'est, le Rho- » dope, le Balkan, ainsi que la chaîne valaque.

« Les points de jonction de ces systèmes sont marqués le plus » souvent par de grandes cavités, dans quelques unes desquelles se » trouvent, à l'ouest, des lacs, accidents particuliers à cette partie » seule de la Turquie et à la Grèce continentale. »

De même que dans d'autres chaînes, telles que les Alpes, les plus hautes crêtes se trouvent toujours ici près des plus grandes cavités. Ainsi le Komm, qui atteint 2,700 à 2,900 mètres d'altitude, se trouve entre les bassins de Scutari et du lac de Plava, et une série de fentes et de sillons (1).

« La quantité de grandes cavités à fond tout à fait plat et à ni- » veau élevé donne au relief de la Turquie un aspect tout parti- » culier, et ne paraissant avoir son analogue, en partie du moins, » que dans la péninsule Ibérique. A côté de ces excavations, entre » ces rides ou au pied de ces chaînes, on remarque un grand » nombre de fentes ou de défilés profonds courant généralement » N., S. ou E., O. » Les plaines ou les grands bassins peuvent être regardés en partie comme des vallées longitudinales, relativement à l'un ou à l'autre système de rides ; tels sont les bassins transylvains de l'Aluta, la plaine du Bas-Danube, celle de la Thrace, etc.

Au centre de la Turquie, et au pied méridional des crêtes qui la traversent de l'O. à l'E., on remarque, dit encore M. Boué, une série de cavités. Les bassins actuellement isolés de la Thrace, de Kalkandel, d'Ouskioub, etc., sont les restes de cette espèce de canal, peut-être autrefois continu. Ces dépressions sont disposées en gradins, les unes au-dessus des autres, à partir d'Andrinople jus-

(1) Voyez la *Relation d'une ascension au Mont Komm, dans le Monténégro*, en 1838, par M. G. Kovalevski (*Bull.*, vol. X, p. 113 1839).

Digitized by Google

qu'à celle de Bistritza, et s'abaissent de plus en plus de cette dernière à Ouskioub. Au N. et à l'E. sont d'autres dépressions. Depuis l'Adriatique jusqu'à la vallée du Gomela-Voda, ces cavités augmentent en élévation, et il en est de même à partir du Danube, en remontant à Radomir et à Ichtiman. La Mœsie supérieure constitue ainsi un plateau carré, élevé et séparé de la Servie par une crête plus haute que toutes ses montagnes.

Les vallées transversales de la Turquie (p. 214) sont, le plus souvent, dirigées à angle droit par rapport à la direction des chaînes. Ainsi dans les montagnes courant N., S. les fentes courent E., O. ; dans celles courant N.-O., S.-E., elles vont du N.-E. au S.-O. ; dans les montagnes dirigées N.-E., S.-O., c'est l'inverse; dans celles courant environ O., E., les vallées sont ouvertes du N. au S., et ainsi de suite. M. Boué cite beaucoup d'exemples de cette disposition, et ajoute qu'un autre caractère particulier du relief de la Turquie est d'offrir beaucoup de facilités pour les routes qui la traversent à l'ouest, et au centre, dans la direction du N. au S. et dans celle du N.-O. au S.-E., tandis qu'il présente toujours plus ou moins de difficultés pour celles que l'on a établies ou que l'on voudrait établir de l'O. à l'E., ou du S. au N., dans la partie orientale.

M. A. Viquesnel, qui avait accompagné M. Boué dans une grande partie de ses voyages en Turquie, et qui depuis a entrepris seul une nouvelle exploration de ce pays, a publié de son côté deux excellents mémoires sous forme d'itinéraire (1), accompagnés de deux cartes, dressées, d'après ses nombreuses observations, par M. le colonel Lapie. Ces cartes, qui jettent la plus vive lumière sur l'orographie de ces contrées, ont rectifié une multitude d'erreurs accumulées dans celles que l'on avait publiées jusque là. Les travaux de M. Viquesnel, sur lesquels d'ailleurs nous reviendrons, sont le complément indispensable de ceux de M. Boué, et laissent aujourd'hui peu d'incertitude sur les caractères généraux, soit orographiques, soit géologiques, de cette partie orientale de l'Europe

Europe orientale et Asie occidentale.

M. Dubois de Montpéreux, dans son *Voyage autour du Caucase* (2); M. Russegger, dans son *Voyage en Afrique, en Asie*,

(1) *Journal d'un voyage dans la Turquie d'Europe*, 1re partie (*Mém. de la Soc. géol. de France*, vol. V, p. 35. 1843, carte et coupes). 2e partie (*ibid.*, 2e sér., vol. I, p. 207. 1846, une carte).

(2) *Voyage autour du Caucase, chez les Tcherkesses et les Aba-*

Digitized by Google

en Grèce et dans diverses parties de l'Europe (1); MM. Murchison, de Verneuil et de Keyserling, dans leur magnifique ouvrage sur *la géologie de la Russie d'Europe et des montagnes de l'Oural* (2), ont fait connaître une foule de détails importants sur le relief des pays qu'ils ont parcourus et si bien décrits; mais nous remettons à en parler lorsque nous traiterons des diverses formations géologiques qui les constituent.

M. J. D. Sherwood (3) a donné une description de l'orographie de la Palestine, et dépeint la mer Morte comme encaissée à l'E. et à l'O. entre deux escarpements de roches calcaires plus ou moins accidentées et abruptes, de 550 à 800 mètres d'un côté, et de 450 à 650 mètres de l'autre.

M. Pierre de Tchihatcheff a tracé, au commencement de la seconde partie de son bel ouvrage (4) (p. 323), la délimitation approximative de l'Altaï, ses cours d'eau et la nature comme la disposition de ses vallées. Il est revenu sur ces divers sujets dans sa conclusion (p. 403), où il constate, comme nous avons vu que l'avait signalé pour la première fois son illustre prédécesseur, le changement de direction des couches et des chaînes, à partir du nœud de croisement marqué par le massif central que dominent les colonnes de Katoune, croisement qui paraît aussi avoir donné lieu aux lacs profonds, nombreux et à bords abruptes qui caractérisent l'Altaï.

Si, revenant à l'O., nous passons l'Atlantique, nous trouverons sur la chaîne des Apalaches beaucoup de travaux géologiques exé- Amérique du Nord. États-Unis.

---

kases, en Colchide, en Géorgie, en Arménie et en Crimée, 6 vol. in-8 et atlas in-fol. Paris, 1840-1843.

(1) *Naturhistorische reise*, etc. Voyage en Afrique, en Asie, en Grèce et dans diverses parties de l'Europe, entrepris pour l'avancement des sciences naturelles, 4 vol. in-8, atlas de vues, de coupes et de cartes géologiques (de l'Égypte, du Liban et de l'Anti-Liban, et du Taurus). Stuttgardt, 1842.

(2) *The geology of Russia in Europe and the Ural mountains*, 2 vol. in-4, 2 cartes, 4 pl. de coupes et 52 pl. de fossiles. Londres, 1845.

(3) *Observations sur la vallée du Jourdain*, etc. (*Amer. Journ.*, vol. XLVIII, n° 1. — *Bibl. univ. de Genève*, vol. LVI, p. 94. 1845).

(4) *Voyage scientifique dans l'Altaï oriental et les parties adjacentes de la frontière de la Chine*, 1 vol. in-4, avec atlas in-4 de vues et de plantes fossiles, et un atlas in-fol. de cartes et coupes. Paris, 1845.

Digitized by Google

cutés récemment, et dont quelques uns traitent en même temps de l'orographie de ces montagnes. Deux géologues américains d'un grand mérite, MM. W. B. et H. D. Rogers, dans leur mémoire sur la *structure physique* de cette chaîne (1), la décrivent comme une large bande composée de chaînons montagneux, à l'E. du fleuve Saint-Laurent, et se dirigeant de la partie nord de la Nouvelle-Angleterre au S.-O., pour se terminer dans l'Alabama, sur une longueur totale de 1,300 milles et une largeur de 100. Au lieu de présenter, comme la plupart des chaînes, un axe central, sur les flancs duquel des rides secondaires ou parallèles viennent s'appuyer, celle-ci constitue un système de chaînes parallèles, nombreuses et presque d'égale hauteur. Quelques points atteignent 1,220 mètres d'altitude. La hauteur moyenne est de 250 à 450 mètres. La plaine qui supporte cette large zone de montagnes, depuis les sources des rivières d'Holston et de Clinch, en Virginie, s'abaisse vers les extrémités.

Les caractères les plus frappants des chaînons sont leur grande longueur, leur peu de largeur, la rapidité de leurs pentes, la forme arrondie de leur sommet et leur parallélisme. Plusieurs d'entre eux sont parfaitement rectilignes sur une longueur de plus de 50 milles; aussi ressemblent-ils assez bien à des ouvrages de fortification. Depuis la latitude de la Mohawk jusqu'à la limite nord d'Alabama, les chaînes constituent en général quatre bandes parallèles.

La première, ou celle du nord-est, est une chaîne étroite, flexueuse, appelée dans le Vermont, *Green mountain;* dans l'État de New-York, *Highlands;* en Pennsylvanie, *South mountain;* dans la Virginie, *Blue ridge;* dans le nord de la Caroline et le Tennessée, *Smoky* et *Unaka mountain.* Elle atteint 15 milles de largeur moyenne, et son élévation est de 300 à 450 mètres. A l'ouest de cette chaîne est une grande vallée, constituant une plaine presque de niveau, et qui s'étend, dans toute sa longueur, depuis le Vermont jusque dans l'Alabama, mais avec des noms différents aussi. Telles sont les vallées du lac Champlain et de l'Hudson, dans l'État de New-York; de Kittatiny ou de Cumberland, en Pennsyl-

---

(1) *On the physical structure*, etc. Sur la structure physique de la chaîne des Apalaches, comme démontrant les lois qui ont généralement présidé à l'élévation des grandes chaînes de montagnes. (*Transac. assoc. amer. Geol.*, p. 474. Philadelphie, 1843. — *Rep.* 12[th] *Meet. brit. assoc.*, p. 40, Londres, 1843.)

Digitized by Google

vanie; la *Grande-Vallée*, en Virginie, et la vallée de l'Est du Tennessée.

Au nord-ouest de la grande vallée des Apalaches il y a une série de chaînons parallèles et de vallées, qui s'étendent vers le pied du grand plateau de l'Alleghany et des montagnes du Cumberland. MM. Rogers nomment cette bande *Middle mountain belt* (bande montagneuse médiane). Sa largeur varie de 30 à 60 milles, et sa plus grande dimension, dans ce sens, se trouve dans la partie courbe du cours de la Juanita. La quatrième bande, au N.-O., commence avec l'escarpement sud-est du grand plateau des monts Catskill, Alleghany et Cumberland, et s'abaisse, vers le N.-O., jusqu'aux limites des plus faibles soulèvements. Sa plus grande largeur est de 45 milles.

En suivant la chaîne dans le sens de sa longueur, du Canada dans l'Alabama, MM. Rogers y distinguent neuf divisions ou portions, alternativement droites et courbes, différant par leurs caractères topographiques et leur composition géologique. La première division, ou celle de l'Hudson, s'étend du Canada au New-Jersey, dans une direction N. 15° E., S. 15° O. La seconde, ou la division de la Delaware, s'étend du point où l'Hudson traverse les Highlands, aux rives de la Lehigh, en Pennsylvanie. Elle se courbe graduellement vers l'O.; puis vient la division de la Susquehanna, se prolongeant du N.-N.-E. au S.-S.-O., presque en ligne droite de la Lehigh au comté de Cumberland (Pennsylvanie). La quatrième, dite de la Juanita, présente une courbure au N.-O., depuis 20 milles à l'ouest de la Susquehanna jusqu'à la même distance au nord de la limite du Maryland. Dans cette étendue, la direction change du S. 70° O. au S. 30° O. La division du Potomac, qui est la cinquième, suit une ligne presque droite N. 30° E., S. 30° O., des comtés méridionaux de la Pennsylvanie aux limites sud de ceux d'Augusta, de Pendleton, en Virginie. La division de la rivière James forme une courbe prononcée au N.-O. Elle s'étend de la limite sud de la précédente à la Nouvelle rivière (*New river*), et diffère des trois dont on vient de parler par une moindre régularité dans la direction. Les axes sont plus courts et moins parallèles. La division d'Holston, formée d'axes presque droits, s'étend vers l'embouchure de la rivière de ce nom (Tennessée); elle constitue une des parties les plus remarquables de la chaîne. La direction des axes et des failles est environ N. 67° E. à S. 67° O. Sa longueur est de plus de 200 milles et sa largeur de 55, depuis les montagnes Bleues jusqu'à l'axe situé le plus au N.-O.

Digitized by Google

La huitième division, celle de Knoxville, présente une courbe concave au N.-O., et sa direction de même que ses axes changent du S. 67° O. au S. 35° O. Elle traverse les parties centrales de l'État de Tennessée, et, comme dans la précédente, sa partie disloquée est comparativement étroite. Enfin la neuvième division, celle de l'État d'Alabama, a ses axes presque droits. Sa direction est S. 35° O. (1).

M. Nicolet, dans le *Rapport qui accompagne la carte du bassin hydrographique du haut Mississipi* (2), a donné une idée très complète de l'aspect particulier de cette vaste région, composée d'une série de plaines basses et élevées, et auxquelles, les dénominations ordinaires de montagnes, de plateaux, de vallées, etc., n'étant point applicables, les premiers colons français ont donné le nom de *Côteaux de prairies*, dont la plus grande altitude atteint 600 mètres, de *Côteau des bois*, de *Hauteurs des terres*, etc.

Montagnes Rocheuses.

M. Hitchcock (3), en jetant un coup d'œil général sur le relief de l'Amérique, a fait remarquer que l'axe anticlinal, qui s'étend du cap Horn à la mer Arctique, paraît être le soulèvement le plus récent du continent, croisé probablement en divers points par des systèmes obliques. Les considérations géologiques sur lesquelles il s'appuie semblent donner un grand poids à cette manière de voir. M. Richardson (4), dans des notes ajoutées à la relation du voyage de sir J. Franklin, signale la chaîne des Montagnes Rocheuses, de la Sierra de Mexico à la côte de la mer Arctique, comme s'élevant abruptement au-dessus d'une contrée fort peu inclinée, qui comprend les grandes prairies de l'Arkansas, du Missouri et du Saskatchewan.

Les explorations dirigées par M. Frémont (5), en 1842, 1843 et 1844, de la vallée du Missouri à travers les Montagnes Rocheuses

(1) On trouve dans l'*Amer. Journ.*, vol. XXXV, p. 378, un certain nombre d'altitudes des divers points de cette chaîne.

(2) In-8, Washington, 1843.

(3) *First anniversary address*, etc. Premier discours annuel de l'Assoc. des géol. américains à Philadelphie. 1841.

(4) *Geol. notices*, etc. Notices géologiques sur les nouvelles contrées traversées par le capit. Back, par M. W.-H. Fitton.

(5) *Report of the exploring expedition*, etc. Rapport sur l'expédition d'exploration aux Montagnes Rocheuses, à l'Orégon et au nord de la Californie, in-8, avec une très grande carte du pays exploré, des cartes de détail, un profil général et des vues pittoresques. Washington, 1845.

Digitized by Google

jusqu'à l'Océan Pacifique, ont fourni des bases certaines pour l'orographie de cette partie du continent américain. Ces itinéraires, destinés particulièrement à une étude de détail des voies de communication de l'E. à l'O., et à la détermination astronomique d'un certain nombre de points, ont déjà fait connaître un caractère remarquable de l'espace compris entre 112° et 120° long. O. Greenwich et 35° et 45° lat. N., espace que l'on avait regardé en partie jusqu'à présent comme s'étendant d'une manière continue entre la chaîne des monts Wahsatch et le grand lac salé à l'E. et l'Océan Pacifique à l'O.

Ce *Grand bassin*, comme l'appelle M. Frémont (p. 276), a une étendue de 10 degrés en latitude et de 8 degrés en longitude. Il est limité au nord par la chaîne des montagnes Bleues qui longent la rivière de Colombia, et à l'ouest par une chaîne sinueuse de montagnes, parsemée de lacs, dirigée N., S., et qui, dans sa partie méridionale, prend le nom de Sierra-Nevada de Californie. Celle-ci, en s'inclinant au S.-E., paraît se réunir vers le 35° lat. au prolongement sud-ouest des monts Wahsatch, qui bordent la vallée du Rio-Colorado de la Californie. Cette région, circonscrite par de hautes montagnes et une série de lacs disposés en chapelets, est élevée de 12 à 1,500 mètres au-dessus de la mer, avec laquelle elle n'a aucune communication. Tous les cours d'eau qu'on y a observés, et dont quelques uns ont jusqu'à 4 et 500 milles de long, se rendent à des lacs intérieurs, dont le *Grand lac salé* paraît être un des plus considérables. On ignore d'ailleurs presque complétement ce que renferme cette vaste région ; on pense qu'il s'y trouve des espaces déserts, d'autres couverts de végétation, constituant des oasis qui n'ont point encore été explorées, et qui seraient habitées par des tribus sauvages qu'aucun voyageur n'a encore visitées. Ainsi, cette partie occidentale du continent américain nous présenterait une certaine analogie avec le plateau du Tibet ou avec le Gobi de l'Asie centrale.

Les plus hautes montagnes, mesurées par le capitaine Frémont, ont environ 4,000 mètres d'altitude et se trouvent dans la petite chaîne de *Wind river*, au nord de *South pass*. Le volcan éteint de Sainte-Hélène, situé au nord du fort Vancouver, atteint 4,876 mètres.

Une troisième exploration entreprise en 1845, dans le pays au sud du précédent, apportera sans doute de nouveaux documents qui compléteront ceux qu'a déjà recueillis, dans ses périlleux voyages, l'expédition de M. Frémont.

Amérique du Sud.

En descendant au S., le long de la grande ride méridienne du nouveau monde, nous trouvons encore pour guides les observations

de M. de Humboldt. Dans un mémoire présenté à l'Académie de Berlin, en 1837 (1), ce savant a fait voir que les Andes étaient divisées en chaînes parallèles séparées par de profondes vallées, ou réunies par des cols comme par de véritables nœuds. La chaîne des Cordillères de la Nouvelle-Grenade et de Mérida est la seule exception à la règle générale, et court N.-E., S.-O. Le sol de Quito est déchiré par une multitude de crevasses de 10 à 12 mètres de large sur 22 à 25 de profondeur, lesquelles courent perpendiculairement à la ligne de faîte du volcan qui constitue une masse allongée de 15 kilomètres 1/2.

La bifurcation des Andes, dit ailleurs M. de Humboldt (2), n'a lieu que de 3° 1/4 lat. S. à 2°,20′ de lat. N., entre le nœud de la montagne de Loxa et celui de la montagne où la Magdalena prend sa source. Au nord et au sud de ces deux points, les Andes sont divisées en trois branches qui ne sont pas tout à fait parallèles. La grande vallée longitudinale qui s'étend entre ces deux mêmes points a 60 milles géographiques (de 15 au degré) de longueur, et 5 de largeur. Elle est partagée par des arêtes transverses en cinq bassins inégalement élevés; trois d'entre eux, où se trouvent les villes de Tuença, de Tacunga et de Quito, sont à 2,631, 2,572 et 2,611 mètres au-dessus de l'Océan.

La plaine de Los Pastos, de 3,083 à 3,215 mètres d'altitude, le Tibet volcanique de l'Amérique, est cependant encore de 691 mètres au-dessous du fond de la vallée de Titicaca. Le bassin d'Almaguer, le plus septentrional, est à 2,268 mètres. Le passage de l'Assuay, la seule importante de ces digues transverses, atteint 4,732 mètres, et c'est à 779 mètres au-dessous de ce point que se voient encore les ruines du palais des Incas.

Dans la Cordillère orientale de Bolivia, le Sorata, dont l'altitude est de 7,636 mètres (3), a 858 mètres de moins que le Dhawalagiri

(1) *Analyse d'un mémoire de M. de Humboldt sur le pays de Quito*, trad. de l'allemand par M. de Fourcy (*Ann. des mines*, 3e sér., vol. XV, p. 481).

(2) *Observations géognostiques et physiques sur les volcans du plateau de Quito*, trad. de l'allemand par M. Lalanne (*Ann. des mines*, 3e sér., vol. XVI, p. 411).

(3) D'après M. Pentland *Comp. rend.*, vol. V, p. 703, et vol. VI, p. 831, 1838), le Névado de Sorata a 7,696 mètres d'altitude, l'Illimani 7,275, l'Acuncagua, le plus haut sommet de la Cordillère du Chili, situé à 1° 41′ à l'est de Valparaiso, atteint 7,300 mètres.

Digitized by Google

de l'Himalaya qui atteint 8,494 mètres, et 1,106 mètres de plus que le Chimborazo (6,530 mètres); mais les cols ne sont pas beaucoup plus élevés dans la Bolivia que dans la Colombie. Ainsi, la hauteur moyenne des crêtes, dont les passages ou cols font connaître les *minima* d'élévation, n'est pas en rapport direct avec les points culminants ou sommets isolés des chaînes (1).

Il y a la plus entière dépendance entre le contour du continent américain et la direction variable de la chaîne des Andes, et M. de Humboldt signale, comme d'une grande importance géologique, le coude que forme le littoral d'Arica qu'il compare à celui de la côte occidentale d'Afrique, près de l'île de Fernando-Pô. Tout démontre, continue-t-il, que la hauteur absolue des sommets isolés, phénomène qui dans tous les temps a excité de préférence l'intérêt populaire, n'est qu'un accident local dépendant seulement d'une résistance plus ou moins considérable des couches rocheuses à travers lesquelles le surgissement a eu lieu. L'importance de leur altitude est donc très faible relativement à celle que l'on doit attacher à la direction de l'axe, à la constance de cette direction et à la hauteur moyenne de la ligne de faîte.

La portion de la vallée longitudinale où se trouve Quito, entre la Cordillère d'Antisana et le Cotopaxi à l'E. et celle du Pichincha et du Chimborazo à l'O., est sous-divisée dans sa longueur par une chaîne de collines peu élevées. La température moyenne de Quito est de 11°,5 C. ou 12°,2 R., et presque égale par conséquent à celle de Rome; mais ici, près de l'équateur, à 2,611^{m}.70 d'altitude, c'est la température de la plaine à l'est des collines. Cachemire, dans l'Inde, n'est qu'à 1,738 mètres au-dessus de la mer, d'après Jacquemont, ou 1,900 mètres, d'après Hugel.

Le Pichincha diffère par sa forme de la plupart des volcans, et contraste avec le cône parfait du Cotopaxi. Il se prolonge comme un mur, et sa hauteur est de 4,872 mètres. L'axe de la Cordillère orientale du Pérou est N. 21° E., mais l'axe particulier du volcan est N. 56° E. La grande muraille du Pichincha a été soulevée le long d'une crevasse qui s'écarte plus du méridien vers l'E. que le dos de la Cordillère. La vaste plaine qui entoure l'Antisana, à une élévation de 4,093 mètres, offre aussi des surgissements partiels indépendants du relief général. Le Pichincha

---

(1) Voyez, pour les Alpes et les Pyrénées, un article de M. de Humboldt dans les *Annales des sciences naturelles*.

Digitized by Google

présente quatre sommets principaux; le Rucu-Pichincha, le plus au sud-ouest d'entre eux, est celui où se trouve le cratère.

M. Alcide d'Orbigny, dont le séjour dans l'Amérique du Sud a rendu de si grands et de si nombreux services aux sciences naturelles, a esquissé l'aspect du plateau de Bolivia (1). Entre les 21° et 15° lat. S. la Cordillère constitue un massif de 50 lieues de large, borné à l'O. par la crête de Chacun et à l'E. par les Andes proprement dites ou Cordillère orientale de l'Illimani. Entre ces deux chaînes se trouve une grande surface divisée en deux plateaux: l'un occidental, élevé moyennement de 4,400 mètres, l'autre oriental ou bolivien, beaucoup plus étendu, élevé de 4,000 mètres. La crête occidentale qui limite à l'O. le premier plateau s'unit aux Andes vers le 15° par un chaînon dirigé au N., tandis qu'au S., vers le 21°, elle se rattache à la Cordillère orientale par un autre chaînon qui borne l'extrémité sud du plateau et forme le nœud Argentin, lequel s'unit aux montagnes de Salta et de Taija.

Le plateau occidental est borné à l'E. par une chaîne dirigée N.-O., S.-E., qui commence au 16°, s'élève et s'abaisse plusieurs fois, puis se trouve croisée au 20°,31′ par le nœud de Porco. Elle se prolonge ensuite au S. jusqu'au nœud Argentin qui sert de limite aux républiques bolivienne et argentine. Au-delà du 21°, M. d'Orbigny désigne cette chaîne sous le nom de Delinguil, l'une de ses sommités.

Le plateau oriental ou bolivien (p. 116), beaucoup plus vaste que le précédent, mais dirigé de même S.-E., N.-O., s'étend depuis le 15° jusqu'au 20°, sur une largeur moyenne de 31 lieues. Il est bordé à l'O. par la chaîne de Delinguil et à l'E. par les Andes orientales que dominent le Sorata (7,696 mètres) et l'Illimani (7,315 mètres) (2). M. Pentland (3) donne à cette partie de la chaîne une direction N., S., tandis que M. d'Orbigny la regarde comme courant S.-E., N.-O.

Australie. Dans son *Aperçu sur la côte nord de l'Australie et sur la côte méridionale de la Nouvelle-Guinée* (4), M. Hambron a présenté quelques idées générales sur la disposition des volcans, dans leurs rapports avec l'île de Bornéo et la Nouvelle-Hollande, puis il a in-

(1) *Voyage dans l'Amérique méridionale*, vol. III. 1842.
(2) Voyez *antè*, p. 103, 178 et notes.
(3) *Nouv. ann. des voyages*, 2e sér., vol. XIV, p. 22.
(4) *Comp. rend.*, vol. XX, p. 1568. 1845.

Digitized by Google

diqué les principaux caractères du relief et l'aspect physique de ce dernier continent.

Le seul axe continu et persistant de l'Australie, dit M. Murchison, dans son discours à la Société géographique de Londres (1), est déterminé par une ride de roches cristallines ou basse Cordillère, dirigée N., S. et à peu de distance de la côte orientale. L'axe cristallin se prolonge au S. par une courbe jusque dans la terre de Van-Diémen, tandis qu'au N. il se continue vers l'extrémité du golfe de Carpentarie, au détroit de Torres, pour reparaître encore au-delà, suivant la même direction, dans la Nouvelle-Guinée. Cette chaîne méridienne, qui se développe ainsi sur près de 35 degrés de latitude, serait plus longue que l'Oural, cette autre grande chaîne méridienne qui sépare l'Europe de l'Asie, et elle lui ressemblerait, en outre, d'une manière frappante, sous le rapport géologique. La partie du continent, située à l'ouest de la chaîne, est jusqu'à présent regardée comme ne renfermant point de grands cours d'eau ; elle paraît occupée par des marais et des sables dus à un ancien fond de mer lentement soulevé.

M. de Strzelecki (2) a dépeint, d'une manière très pittoresque, la disposition de cette chaîne flexueuse et subdivisée en plusieurs tronçons, qui longe la côte orientale de la Nouvelle-Galles du Sud, et d'où descendent les cours d'eau qui se jettent dans la mer à l'E. et à l'O. Si de la partie de la chaîne appelée Montagnes de la Nouvelle-Angleterre, on descend au S., on trouve, lui succédant, la chaîne de Liverpool, dont les pics atteignent 1,430 mètres, puis la chaîne des montagnes Bleues. Cette dernière, si difficile à explorer, offre des sommets de 731 mètres (le mont Hay) et de 1,234 (le mont Adine). Entre ces points culminants, dont les uns couronnent la courbe nord et les autres la courbe sud de cette espèce de croissant tourné à l'E., se montrent çà et là des abîmes béants, des gorges profondes, tortueuses, et d'effrayants précipices. Ces crevasses, étroites et obscures, sont bordées de murailles gigantesques de grès, tantôt s'écartant, tantôt se rapprochant et recouvrant ainsi le lit des torrents qui roulent leurs eaux écumantes à d'immenses

(1) *Address to the anniversary meeting*, etc. Discours à la séance annuelle de la Société géographique de Londres, 27 mai 1844, p. 63.

(2) *Physical description*, etc. Description physique de la Nouvelle-Galles du Sud et de la terre de Van-Diémen, in-8, carte géol. et coupes. Londres, 1845.

Digitized by Google

profondeurs. Partout la descente dans ces crevasses est extrêmement périlleuse et la sortie presque impraticable. Plus loin sont les contreforts qui constituent la chaîne de l'Honeysuckle, puis vient une autre chaîne qui sépare la rivière de Macquarie de celle d'Abercromby. Au S. la chaîne principale s'abaisse et ses formes heurtées s'adoucissent (1).

Après avoir décrit plusieurs ramifications latérales, M. de Strzelecki arrive au groupe appelé les Alpes australiennes, dominées par le cône escarpé du mont Kosciuszko, le point le plus élevé de tout le continent (1,981 mètres), couvert de neige et d'où la vue embrasse un horizon de 7,000 milles carrés. Au-dessous de l'observateur le regard plonge dans une gorge étroite, d'où s'échappent, à 1,000 mètres de profondeur, les sources du Murray, dont les eaux se dirigent à l'O. vers l'Océan. La chaîne qui se prolonge ensuite au S.-O. présente encore plusieurs ramifications importantes.

Au promontoire de Wilson la mer interrompt la chaîne méridienne principale, mais elle ne la termine pas, et par un ciel pur on peut encore la suivre de l'œil, se continuant par la chaîne des îles du détroit de Bass. Ces dernières, dans leurs contours et leur disposition allongée, aussi bien que par les flots qui viennent se briser autour d'elles, ressemblent, dit l'auteur, aux dômes des Andes, recouverts de neiges éclatantes, lorsqu'on les aperçoit se détachant au-dessus des nuages qui enveloppent leur région inférieure.

Des pics granitiques de l'île de Clark, la chaîne se relève au sud du cap Portland pour se prolonger dans l'intérieur de la terre de Van-Diémen. D'abord peu élevée, elle atteint ensuite 1,000 mètres et davantage, jette des rameaux à l'E. et à l'O. et imprime à cette partie nord-est de l'île une configuration remarquable par le réseau de rides qu'on y observe et que surmontent le Ben-Névis (1,200 mètres), le mont Barrow, le mont Arthur (1,200 mètres), et le mont Caméron. La partie centrale de ces masses montagneuses est un plateau élevé, désert, image d'une nature désolée et où règne un silence

(1) Ces caractères particuliers du relief du sol de l'Australie orientale n'avaient pas moins frappé M. Darwin (*Geol. observations*, etc. Observations géologiques sur les îles volcaniques, in-8. Londres, 1844, p. 183). —Voyez aussi les ouvrages de Cunningham, de Start et de Mitchell (2 vol. Londres, 1838).

Digitized by Google

éternel. Sur la terre nue, ou couverte çà et là de quelques plaques de neige au milieu de l'été, gisent des milliers de colonnes prismatiques de 3 à 4 mètres de diamètre, colonnes gigantesques, sculptées par la nature, soulevées par sa puissance dans la région des nuages, puis renversées et brisées en énormes fragments sur le bord d'abîmes de 8 à 900 mètres de profondeur.

Au cap Saint-Patrice la chaîne s'éloigne de la mer pour se diriger au S.-O. Elle forme ensuite de nombreuses inflexions, et présente un caractère non moins remarquable qu'au N. Elle entoure les bassins du Derwent et de la rivière Huon jusqu'à ce qu'elle vienne finir au bord du canal d'Entrecasteaux et terminer sa course en disparaissant au cap Sud sous les eaux de l'Océan Austral.

§ 3. Orographie systématique.

L'orographie systématique, avons-nous dit, est celle par laquelle on cherche à ramener à certaines lois générales de symétrie les diverses rides qui sillonnent la surface de la terre. Elle se lie donc intimement au mode de formation de ces rides et par conséquent aux théories qui ont été proposées pour les expliquer et dont nous n'avons pas à nous occuper en ce moment ; aussi ne ferons-nous qu'indiquer sommairement les travaux qui ont été faits dans cette direction.

M. Pissis, dans un *Mémoire sur les rapports qui existent entre la figure des continents et les directions des chaînes de montagnes* (1), mémoire dont nous ne connaissons d'ailleurs que le résumé fait par l'auteur, a d'abord cherché les figures de plusieurs continents qui se rapportent à des polygones dont les principaux côtés sont des arcs de grands cercles, et dont les côtes d'une moindre étendue sont en général parallèles à ces côtés. Déterminant ensuite, à l'aide du calcul et de coordonnées géographiques, des extrémités de chaque côte, la position du cercle qui en représente la direction, puis suivant chacun de ces cercles autour du globe, il arrive aux résultats suivants.

Les lignes qui forment les limites des continents sont toutes représentées dans leurs directions par quinze grands cercles, et se trouvent comprises dans des zones dont la largeur dépasse rarement 30°, et qui sont comprises elles-mêmes entre deux plans parallèles à ces cercles. Ces quinze cercles partent de quatre intersections

(1) *Comp. rend.*, vol. XIX, p. 1392. 1844.

Digitized by Google

communes, qui correspondent soit aux extrémités des continents, soit à de grandes dépressions du sol. Le premier de ces centres d'intersection se trouve placé un peu au sud de l'Espagne, à l'entrée du détroit de Gibraltar. Il en part six cercles, qui donnent la direction de toutes les côtes voisines. Le second, formé par l'intersection de quatre cercles, correspond à l'extrémité sud de l'Indostan. Le troisième occupe l'extrémité méridionale de l'Afrique. Enfin, le quatrième est situé entre le Groenland et l'Islande.

Comparant ensuite les directions des chaînes de montagnes aux cercles précédents, l'auteur démontre que toutes les grandes chaînes du globe et les lignes de soulèvement reconnues par M. Élie de Beaumont sont représentées dans leurs directions par ces quinze cercles, de telle sorte que les lignes qui forment les limites des terres émergées, leurs grandes dépressions et les lignes les plus saillantes de leur relief, se trouvent ramenées à quinze systèmes de directions.

Ne connaissant, pour ainsi dire, que l'énoncé du problème que s'est posé M. Pissis et les conséquences qu'il a déduites de ses calculs, il nous est impossible d'apprécier la valeur de ses preuves, surtout en l'absence de construction graphique. Il n'en est pas de même de la *Carte des anciens équateurs*, que M. de Boucheporn a jointe à ses *Études sur l'histoire de la terre*, dont nous avons déjà parlé (*antè* p. 37), et qui parut l'année même où M. Pissis présenta son mémoire à l'Institut.

Abstraction faite, pour le moment, des causes auxquelles l'auteur a attribué l'origine des quatorze grands cercles qu'il a tracés à la surface de la terre en les raccordant aux directions des principales chaînes de montagnes, nous y trouvons une certaine analogie avec l'idée de M. Pissis; seulement ce dernier, d'après son énoncé, a compris dans ses quinze cercles, non seulement les chaînes, mais encore la forme ou les contours des continents eux-mêmes. M. de Boucheporn, dans un texte développé, toujours clair et précis, accompagné d'une construction graphique également facile à saisir, nous a permis d'apprécier l'étendue de ses recherches, la variété des documents qu'il a coordonnés pour arriver à des résultats très intéressants et étayés d'un grand nombre de preuves. On doit donc reconnaître que dans cette voie l'auteur a tiré parti avec une grande habileté des données acquises à la science jusqu'à ce jour.

Mais ce mode systématique de faire passer par toutes les aspérités du globe, ou parallèlement à ces aspérités, de grands cercles

Digitized by Google

représentant d'une manière absolue le nombre des soulèvements ou des dislocations qui ont accidenté la surface de l'écorce terrestre, nous paraît sujet à deux objections qui pourraient tendre, sinon à le faire abandonner, du moins à en restreindre l'application quant à présent. La première, c'est que ces cercles ne peuvent pas représenter tous les soulèvements linéaires, parce qu'il est certain, comme nous le verrons, que, dans une même chaîne, des soulèvements ont eu lieu dans la même direction, à des époques très différentes. La seconde, c'est qu'en faisant passer des cercles par toutes les déviations des chaînes, on préjuge une question que le manque de données expérimentales d'une part, et d'observations suffisantes de l'autre, ne permet pas de résoudre.

Ainsi les calculs appliqués à l'écorce terrestre, pour déterminer absolument la direction d'un soulèvement et ses résultats, en dehors de certaines limites, manquent de bases réelles, faute de connaître les extrêmes des irrégularités que les résistances inégales de l'écorce dans ses divers points doivent nécessairement produire, quelle que soit d'ailleurs la symétrie des forces appliquées. On ne sait point si cette limite extrême est de 5, de 10 ou de 15 degrés, ou même plus, par rapport à la direction générale de la force, ou de la résultante des forces ; on ignore également si, dans le sens de la longueur, l'effet de la déviation peut être de 10, 15, 20, 30 lieues, ou davantage. Il résulte donc de la première objection qu'on aura pu tracer *moins* de cercles qu'il n'y a en réalité de soulèvements, puisque plusieurs de ces derniers auront été confondus sous une même direction ; et de la seconde, que l'on aura au contraire tracé *trop* de cercles, parce que l'on aura pris pour des soulèvements distincts ce qui n'était que le résultat des déviations et des irrégularités nécessaires d'un même soulèvement, irrégularités en rapport avec les résistances inégales d'une écorce hétérogène, composée de couches d'épaisseurs différentes, et déjà plus ou moins fendillée dans telle ou telle direction.

Il est probable en outre qu'en suivant cette méthode, on élève au même rang, et sans distinction, des phénomènes d'une importance extrêmement différente. Ainsi, lorsqu'on embrasse l'orographie et les bassins hydrographiques du globe dans leur généralité, et que l'on tient compte de la direction des îles dans les principaux archipels, direction qui peut nous traduire celle des chaînes sous-marines dont nous n'apercevons que les sommets, on reconnaît que ces grands accidents se rattachent à quatre direc-

Digitized by Google

tions principales N., S.; E., O.; N.-O., S.-E.; et N.-E., S.-O.; toutes les autres ne seraient peut-être que des irrégularités locales de celles-ci, ou bien des effets circonscrits et restreints à de petites étendues.

§ 4. Orographie appliquée.

Nous nommons ainsi le point de vue de la science qui, par la forme des continents, la direction et les caractères physiques des montagnes, la disposition relative des plateaux et des plaines, enfin par toutes les données orographiques et hydrographiques, permet de déduire la composition géologique d'un pays que l'on n'a pas observé directement.

M. A. Boué a souvent porté ses études dans cette direction, et l'on doit reconnaître que cette méthode d'induction *à priori* l'a conduit à des conclusions que les découvertes ultérieures ont souvent justifiées. C'est surtout dans un *Mémoire à l'appui d'un essai de la Carte géologique du globe terrestre*, *présenté en* 1843 *à la réunion des naturalistes d'Allemagne à Gratz* (1), qu'il s'est attaché à développer ses idées à cet égard. Il a fait voir que, la nature géologique d'une chaîne de montagnes ou même d'un continent étant connue, celle de leur prolongement l'était aussi; que souvent une même nature géologique était propre aux chaînes parallèles voisines, séparées par des bras de mer ou des détroits, par des vallées, des roches ignées, ou bien encore par des bassins secondaires ou tertiaires; puis, d'un autre côté, qu'il pouvait y avoir identité de constitution géologique dans des chaînes qui ne sont point parallèles (p. 310).

Les changements brusques dans le cours des fleuves sont des indices aussi sûrs d'une variation dans la nature du sol que des mouvements subis par ce dernier. L'auteur s'occupe ensuite du rapport des lacs, de leur forme, et de leurs dimensions, avec la nature des terrains dans lesquels on les trouve. Il tire de même plusieurs inductions de l'existence des déserts et de la stérilité d'un pays. La Faune et la Flore d'une région sont encore des données pour faire présumer que tel ou tel système de couches s'y rencontrera, et il n'y a pas jusqu'à l'archéologie et l'ethnographie, dont M. Boué ne cherche à utiliser les documents.

(1) *Bull.*, 2e sér., vol. 1, p. 296. 1844.

Digitized by Google

Ces déductions *à priori* ont été appliquées, d'une manière heureuse, dans les planches 17 et 30 de l'atlas de M. de Hauslab, dont nous parlerons bientôt. Ces planches représentent des cartes géologiques de l'Europe et du globe, où le fond des mers a été colorié géologiquement d'après les portions connues des continents voisins.

Ainsi, comme l'avait déjà remarqué M. de Humboldt, la distribution, la civilisation et la destinée des peuples semblent liées à la constitution du sol; et les chaînes qui courent E., O., ou dans la direction des parallèles, établissent une bien plus grande différence entre les nations, de même qu'entre les Faunes et les Flores, que celles qui s'étendent N., S., ou dans le sens des méridiens.

M. Boué (p. 339) pense que les races humaines, au nombre de quatre ou cinq, sont parties de quatre ou cinq centres en rapport avec ceux des faunes et des flores. Ainsi la race nègre, reléguée dans le triangle africain, au sud du Sahara et de la Nubie, prouverait que les pays de la race blanche en étaient séparés par une vaste mer. Le Sahara, avec ses dépôts de sel (Teleg au nord de Tombouctou, Dongola, etc.), serait alors le fond d'une ancienne Méditerranée. D'après le peu de notions que l'on possède sur l'Afrique centrale, le savant auteur est porté à admettre que deux chaînes côtières bordent à quelque distance les rivages de l'Afrique méridionale, et qu'elles sont surtout élevées, et composées de schistes cristallins dans le Congo. Il y aurait une troisième chaîne dirigée O., E., à travers le continent, à peu près depuis la Gambie, et qui pourrait n'être composée que d'une suite de terrasses adossées les unes aux autres, et ne présentant de grande échancrure transverse que celle par laquelle le Niger débouche dans le golfe de Bénin. Il ne descendrait de grands cours d'eau de ce bourrelet central qu'à l'O., au N.-E. et à l'E. L'Afrique serait de la sorte un grand triangle circonscrit par trois chaînes, comme l'Indostan britannique, qui est bordé par les chaînes de Vindhya, des Ghates et de Coromandel; l'orographie et l'hydrographie des deux continents seraient alors tout à fait semblables. Il serait possible, en outre, que des masses trappéennes ou basaltiques occupassent le centre du triangle africain, pour compléter son analogie avec l'Inde, en deçà du Gange.

Le monde nègre habitait donc (p. 350) sur une plate-forme triangulaire, accidentée et bordée de chaînes schisteuses cristallines avec des roches granitoïdes très nombreuses, quelques chaî-

Digitized by Google

nons primaires, surtout au S. et à l'E., et même quelques roches secondaires de l'époque récente, comme dans le sud. Vers le centre seraient des bassins lacustres constituant des plateaux, et une région de roches ignées, d'une époque différente en partie de celles de l'Abyssinie et des bords maritimes du Sahara (1).

Après avoir considéré la distribution géologique des grandes formations, M. Boué arrive à démontrer que les sept parties du monde des géographes se modifient pour le géologue de la manière suivante : 1° l'Asie avec ses grandes péninsules, dont l'Europe et l'Afrique barbaresque sont les plus considérables; 2° l'Amérique du Nord avec le Mexique et le Guatémala; 3° l'Amérique du Sud; 4° l'Afrique nègre (toute la partie nord du Sahara appartenant au grand quadrilatère asiatico-européen; 5° l'Australie et ses îles; 6° les Terres Antarctiques; 7° l'Océanie. Abstraction faite de cette dernière, il reste six masses continentales indépendantes, ayant chacune leurs appendices et présentant aussi chacune d'énormes noyaux de schistes cristallins et de roches massives cristallines, dont la grandeur et le nombre sont en rapport avec la masse continentale, dont ils forment, en quelque sorte, le squelette.

Les six grands continents seraient partout entourés de mers, sans l'isthme de Panama et sans l'exhaussement du fond de l'ancienne Méditerranée, qui occupait le Sahara et recevait les eaux du Nil. Les formes des continents ressemblent beaucoup à celles des Amériques, en liant l'Afrique à l'Europe, et la Nouvelle-Hollande à l'Asie. Cette analogie dans les formes dépendrait de la figure particulière du solide terrestre, des forces existant à l'intérieur, de leur mode d'action et de leurs directions habituelles; le tout combiné avec le double mouvement du globe sur lui-même et dans l'espace, et dont la surface semble avoir été déchirée par des fentes partant du S. et dirigées au N. (2).

« Si l'on divise, dit M. Boué (354), les chaînes de la terre en » deux grandes sections seulement, savoir : celles qui courent à » peu près suivant les parallèles, et celles qui s'étendent dans le » sens des méridiens, il paraîtrait que les premières sont plus im-

---

(1) Voyez, à l'appui des idées de M. Boué, les considérations que M. Virlet a développées dans ses *Notes sur la géographie ancienne* (*Bull.*, 2ᵉ sér., vol. II, p. 349. 1845).

(2) La lune, Vénus et Mercure paraissent aussi avoir leur hémisphère Sud plus tourmenté que le Nord (*Journ. de phys.*, vol. LX, p. 16. 1805).

» portantes que les secondes, et cela d'autant plus qu'elles sont » plus proches de l'équateur et courent plus réellement E., O. Cela » vient sans doute de ce qu'elles sont établies sur les parties de la » terre qui ont dû s'écarter le plus de la courbe d'un sphéroïde » régulier, en vertu de la force centrifuge. Ce seraient donc des rides » surajoutées à des bosses, tandis que la plupart des chaînes N., S. » auraient été formées sur la surface régulière du sphéroïde; en » sorte que ces rides du globe, même les plus anciennes, ne date- » raient que des époques géologiques les plus reculées des terrains » connus. »

Appendice bibliographique.

Charles Ritter. — *Die Erdkunde*, etc... La géographie physique, vol. IV à VIII; de l'Asie. Berlin, 1834-1844, in-8 de plus de 1,000 pages chaque, et comprenant l'Indostan, l'Iran et toute l'Asie occidentale. Le nord-est de ce continent, ainsi que les parties orientales et centrales, ont été traitées dans les trois premiers volumes, 1818-1833. L'Afrique, qui formait le 1er vol. avait paru en 1817, une 2e édit. en 1822 et la 3e en 1839.

Ch. Ritter, F.-A. O'Etzel et Ch. Zimmermann. — Cartes publiées à Berlin de 1832 à 1843, au nombre de 14, plus 2 feuilles de profils et 1 feuille de la direction des chaînes. Les cartes comprennent toute l'Asie intérieure, orientale, méridionale et occidentale. Manquent encore la Sibérie boréale, l'Arabie et l'Asie mineure. Ces cartes sont remarquables par la manière dont le relief du sol y est rendu, et par la multitude de détails qu'on y trouve sur les hauteurs, les métaux, les sources minérales, la distribution des animaux, des végétaux et des races.

Kiepert. — *L'Asie mineure*, d'après les travaux les plus récents, 6 feuilles. Berlin, 1844.

Alf. de Roon. — *Grundzuge der Erd-volker*, etc. Eléments de géographie topique, physique et politique (ethnographie et statistique), 2e édit., 4 vol. in-8. Berlin, 1837-1842.

Cet ouvrage, fort bien fait, a été exécuté d'après la méthode et les œuvres de M. Ritter.

Fréd. Rougemont. — *Précis de géographie comparée*, in-8. Neuchâtel, 1831.

Berghaus. — *Physikalischen Atlas*. Atlas de physique, 13 livr., comprenant 67 cartes, dont 13 pour la météorologie, 16 pour l'hydrologie et l'hydrographie, 15 pour la géologie, 5 pour le magnétisme terrestre, 6 pour la géographie des plantes, 12 pour la distribution des animaux. Berlin, 1836-1845.

Il ne reste à publier que les livraisons anthropologiques. Cet atlas, unique jusqu'à présent dans son genre, est le

Digitized by Google

résumé judicieux d'une immense quantité d'observations.

F. de Strantz. — Compilation, 1° sur les hauteurs mesurées dans les pays élevés et dans ceux placés à des hauteurs moyennes ou basses; 2° sur les montagnes très élevées, la hauteur de leur pied, celle de leurs cols, des lieux habités, des escarpements, etc.; 3° hauteurs des plateaux, des vallées élevées, des plaines sur les plateaux, des plaines basses, des volcans, des cavernes, des rivières, des lacs, etc. (*Ann. de Berghaus*, vol. II, p. 146-148; vol. VI, p. 101-105; vol. XIII, 3e série, vol. I, p. 496-511; vol. XIX, 3e série, vol. VII, p. 193-212; vol. XXIII, 3e série, vol. XI, p. 497-563.)

H. Berghaus. — *Allgemeine Lander*, etc. Géographie physique et ethnographie générale, 6 vol. in-8. Berlin, 1837-1844. Cet ouvrage, qui accompagne le grand atlas du même auteur dont nous venons de parler, renferme une multitude de documents qui le feront toujours consulter avec fruit.

K.-F. Merleker. — *Lehrbuch der historisch*, etc. Traité de géographie historique comparée, 4 vol. in-8. Darmstadt, 1843.

Maedler. — *Leitfaden der mathematischen*, etc. Éléments de géographie physico-mathématique générale, in-8. Stuttgardt, 1843.

Aug. Zeune. — *Die drey Stufen*, etc. Les trois degrés de la géographie physique, in-8. Berlin, 1844.

Ernst Kapp. — *Philosophie der Erdkunde*. Philosophie de la géographie physique, in-8. Brunswick, 1845.

Alph. de Candolle. — (*Bull. de la Soc. géogr. de Paris*, 2e série, vol. XIII, p. 20). Dans ce travail, l'auteur substitue aux régions de M. Costaz une échelle divisée en 100 degrés ou parties, et dont l'extrémité inférieure ou le 0 serait le niveau de la mer, et l'extrémité supérieure ou le 100e degré le sommet de la plus haute montagne du globe Il donne à la suite les altitudes de 76 points pris à la surface de la terre.

Bruguière. — *Des montagnes de la terre*, etc., in-8. Paris. Ce travail est à la fois un complément et un résumé de l'*Orographie de l'Europe*, du même auteur. Il est bon à consulter pour la géographie physique, et surtout pour les altitudes d'un grand nombre de montagnes. Cependant il ne nous paraît plus être au courant de la science actuelle.

Puissant. — *Nouvelle description géométrique de la France*, 2 vol. in-4. Paris, 1835-1841.

Carte topographique de la France, levée par les officiers du corps royal d'état-major, 102 feuilles. Il y en aura 259.

Eschmann. — *Mesures des hauteurs de la Suisse*, 1 vol. in-fol., 1 carte. Zurich, 1840.

Martins. — *Matériaux pour servir à l'hypsométrie des Alpes pennines*.

Digitized by Google

ESCHER et DESOR. — Ascension du pic de gneiss du Schreckhorn en août 1842.

— *Id.* du gros Venediger, dans le Pinzgau, en Salzbourg, les 2 et 6 septembre 1842.

ANT. RUTHNER. — *Die Alpenlander*, etc. Parallèle entre les beautés des Alpes autrichiennes et celles de la Suisse, in-8. Vienne, 1843.

P. MÉRIAN. — Table de 157 hauteurs mesurées dans le canton de Bâle et ses environs (*Bericht ub. d. verh. d. Naturf. ges. in Basel.*, vol. 1, p. 49).

R. SULZERR. — Ascension du Finster-Aar-Horn en septembre 1842 (*Ibid.*, p. 116-120. 1844).

J.-G. NEUGEBAUER. — *Fluss und Hohen skizze*, etc. Esquisse de la potamographie et des hauteurs de l'Allemagne et de quelques pays voisins, in-8. Mayence, 1838.

VAN DER WYCK. — *Sur les mesures barométriques des hauteurs du cours du Rhin, par rapport à l'élévation de Manheim sur la mer* (*Neu. Jahrb.* 1835, p. 258-264).

— *Sur les mesures barométriques de la hauteur du Rhin* (*Ibid.*, 1837, p. 146-152).

A. RAVENSTEIN. — *Mesures des hauteurs dans le Taunus, le Westerwald et les contrées environnantes* (*Ann. de Berghaus*, 1841, vol. XIX, 3e sér., vol. VII, p. 191; vol. XXIV, n. s., vol. XII, p. 353)

STRANTZ. — *Hauteurs mesurées dans la Silésie et la Lusace prussienne* (*Ann. de Berghaus*, vol. XIX, 3e sér., vol. VII, p. 207-210).

AYRER. — *Hauteurs mesurées de la Prusse occidentale* (*Ann. de Berghaus*, vol. XIII, 3e sér., vol. I, p. 571; vol. XV, 3e sér., vol. III, p. 28-30 et 279-283).

Le point le plus élevé est près de Schomberg, à 998 pieds.

C. HOFFMANN et G. SALZENBERG. — *Trigonometrischer nivellement*, etc. Nivellement trigonométrique de l'Oder, depuis Oderberg, sous Kustrir, à la frontière autrichienne, 4 vol., 2 cartes. Berlin, 1841.

RUSSEGGER. — *Mesures de hauteurs dans les vallées de Gastein et de Rauris, en Salzbourg et en Carinthie, avec quelques observations géologiques* (*Neu. Jahrb.*, 1835, p. 379-411).

ZIPSER. — *La plus haute cime des Carpathes, le pic de Gerlsdorf* (*Neu. Jahrb.*, 1840, p. 431-433). Ce point atteint 8,285 pieds.

FARM PETER. — *Hauteurs mesurées en Dalmatie*, in-8. Vienne, 1841.

ZEIZNER. — 116 *mesures prises dans le Tatra, avec indication des roches* (*Monatsber. d. Verh. d. ges. f. Erdk.* Berlin, 1839, p. 10-14).

— *Mesures barométriques dans la mine de sel de Wieliczka* (*Ibid.*, vol. III, p. 14-16. 1841).

Digitized by Google

A.-J.-V. Heunisch.—*Hohen Karte der konigreichesW urtemberg*, etc. Carte des hauteurs du royaume de Wurtemberg et du grand-duché de Bade, avec des hauteurs barométriques de la Forêt-Noire, de l'Alp et de l'Odenwald, 1 feuille. Stuttgardt, 1843.

A. Vibe. — *Mesures de hauteurs en Norwége* (*Gœa norwegica* de Keilhau, 1844, part. 2, p. 149-217).

Lor. de Pansner.— *Hohen der Orter*, etc. Hauteurs des lieux sur la mer dans la Russie d'Europe et d'Asie, d'après des observations barométriques faites pendant un voyage de l'ambassade russe en Chine, de 1805 à 1807, ainsi que pendant d'autres voyages dans l'empire russe. Berlin, 1838 (*Ann. de Berghaus*, vol. XV, 3e sér., vol. III, p. 97-119).

Fedorow. — *Mesures des hauteurs de l'Oural* (*Monastber. ges. Erdk.*, Berlin, 1841, vol. I, p. 218).

De Meyendorf. — *Mesures dans l'intérieur de la Russie* (*Ibid.*, vol. III, p. 19-20).

G. de Helmersen. — *Mesures des hauteurs dans l'Oural et les steppes des Kirghiz* (*Beitrag. z. Kenntn. d. Russ.*, vol. VI, p. 120-131).

De Roon. — *Die Iberischte Halbinsel.* La Péninsule ibérique, in-8. Berlin, 1839.

— *Nouvelle ascension au volcan de Kirauca* (*Neu. Jahrb.*, 1841, p. 717-719).

Credner. — *Hauteurs entre Arnstadt et Gotha* (*Neu. Jahrb.* 1839, 4e cahier. — *Bull.*, vol. XI, p. 17. 1839).

J.-A. Kirckel. — *Die Gebirgswelt*, etc. Le monde orographique, ou description des montagnes de notre globe, sous le rapport de leur composition, de leurs formes, de leurs richesses minéralogiques, des mines, des cavernes, des hauteurs relatives, etc., accompagné d'un essai de climatologie et de recherches sur les productions naturelles de toutes les montagnes explorées, 2 vol. in-16, avec cartes. Vienne, 1842.

De Khanikoff. — *Carte topographique de la chaîne de l'Oural méridional.*

— *Carte des Steppes Kirghiz*, 1842.

Alex. Keith Johnston et H. Berghaus. — *The physical Atlas*, etc. Atlas physique ou série de cartes illustrant la distribution des phénomènes naturels. Part. 1, Edimbourg, 1845.

Glaser.—*Atlas physique* d'après Ritter, de Humboldt, Schouw, etc., 1844.

Winckelmann et Walter. — Carte des rivières et des montagnes de l'Allemagne.

Zimmermann. — Cours inférieur de l'Oxus.

A. Denaix.— *Atlas historique de l'Europe*, 26 feuilles, avec texte.

— *Atlas physique, politique et historique de la France*. 15 cartes, avec texte. Paris, 1837.

Digitized by Google

CHAPITRE VII.

HYDROGRAPHIE.

M. le colonel de Hauslab a présenté au congrès scientifique de Gratz, en 1843, un *Mémoire sur la distinction entre les bassins orographiques, hydrographiques et géologiques*, mémoire que nous ne connaissons que par l'analyse qui en a été donnée dans le *Bulletin* (1). Ce court résumé ne nous a pas permis d'apprécier ce qu'il y avait de réellement neuf dans le travail de M. de Hauslab; aussi nous bornons-nous à le mentionner. Mais il n'en est pas de même d'un Atlas de 40 planches inédites que l'auteur a offert à la Société géologique en 1844, et qui, sous le titre de *Représentation graphique des rapports entre l'orographie, l'hydrographie et la géologie du globe terrestre*, renferme une immense quantité de documents coordonnés d'une manière aussi instructive que variée. Malheureusement les travaux de ce genre ne sont pas susceptibles d'analyse, et un coup d'œil sur ces cartes en apprendrait plus que de longues descriptions. Nous ne pouvons donc que renvoyer à la notice explicative qui en a été faite (2) et dans laquelle le lecteur rectifiera facilement, lorsqu'il aura les planches sous les yeux, quelques erreurs qui s'y sont glissées. Tout en manifestant le désir de voir donner une plus grande publicité à ce précieux recueil, nous exprimerons le regret que le savant auteur n'ait pas porté sur ses cartes, ou du moins sur quelques unes d'entre elles, les données hypsométriques *positives* et *négatives* qui lui ont servi à les construire, et au moyen desquelles il aurait pu combiner aussi des profils suivant les méridiens, suivant les parallèles ou toute autre direction. Les résultats de ses recherches eussent présenté alors un caractère de précision et de *positivité*, s'il est permis de s'exprimer ainsi, qui nous semble leur manquer encore.

Dans sa thèse *Sur l'origine des lacs* (3), M. Barnéoud a cru

(1) *Bull.*, 2e sér., vol. I, p. 569. 1844.
(2) *Ibid.*, vol. IV, p. 147. 1846.
(3) Paris, 1844.

Digitized by Google

pouvoir diviser ceux-ci, d'après leur mode de formation supposé, en *lacs d'émergement* ou résultant du soulèvement du sol d'abord immergé et dont les cavités sont ensuite demeurées remplies d'eau; en *lacs cratères* ou lacs de soulèvement proprement dits; en *lacs des grandes chaines de montagnes;* en *lacs d'écoulement*, et enfin en lacs produits par le *barrage des vallées.*

La source de Vaucluse a donné lieu à beaucoup d'hypothèses et de croyances populaires, et M. Daniel (1), dans une lettre adressée à M. Arago, a cherché à établir l'existence d'une communication entre ses eaux et un gouffre situé aux environs d'Aix. Le même observateur a signalé la relation qui aurait aussi lieu entre la fontaine d'Enversat et le lac de Thau, dans lequel cette source vient déboucher. Les eaux salées et les eaux douces remplissent la caverne, suivant que les années sont sèches ou pluvieuses, et quelquefois les eaux salées entrent d'un côté, tandis que l'eau douce sort de l'autre (2).

M. Fournet a écrit un *Mémoire sur les sources des environs de Lyon* (3), et il a suivi en même temps la direction des roches granitiques et celle de leurs arêtes qui est S.-O., N.-E., ou parallèle au Pilat. Le même géologue a traité de la température des eaux du Rhône et de leur refroidissement souterrain (4).

Des *Documents pour servir à la géographie physique du bassin du Rhône* (5) ont été publiés par M. Lortet. Ce travail, fort intéressant et bien écrit, sera sans doute d'une grande utilité pour l'hydrographie de ce bassin. Les nombreux détails qu'il renferme, les indications géologiques, ainsi que les coupes, prouvent assez que l'auteur n'a rien négligé de ce qui se rattachait à son sujet principal. M. Necker (6) s'est beaucoup occupé du lac de Genève et des dépressions analogues qu'il attribue à des enfoncements produits lors du soulèvement des montagnes voisines. Il conclut de

---

(1) *Comp. rend.*, vol. III, p. 545 et 583. 1836. — Voyez aussi une *Notice* de M. Arago (*Ann. du Bur. des longitudes pour* 1835, p. 209).

(2) *Comp. rend.*, vol. III, p. 547. 1836.

(3) *Ann. de la Soc. d'agric., sc. et arts de Lyon*, 1839.

(4) *Ibid.*, 1844.

(5) In-8, 1 carte et 4 pl. de coupes, Lyon 1843. — Voyez aussi : *Rapport sur les travaux de la commission hydrométrique en* 1845, *présenté à M. le maire de Lyon*, in-8. Lyon, 1846.

(6) *Études géologiques dans les Alpes*, in-8, t. I. Paris, 1844.

Digitized by Google

diverses considérations que l'existence des lacs alpins est constamment en rapport avec le relief du sol et non avec sa nature géologique ; et comme ce relief a été déterminé par des soulèvements, il devient très probable que la formation des lacs est liée à ces phénomènes, les affaissements ayant été plus tard la conséquence des soulèvements.

M. H. Ed. Strickland (1) a décrit un courant d'eau de mer qui coule dans les terres près d'Argostoli, dans l'île de Céphalonie. Ce courant, dirigé convenablement, a été utilisé pour faire tourner un moulin. D'après M. Offley Martin (2), qui rapporte les opinions de plusieurs autres voyageurs, le courant n'éprouverait aucun changement périodique. Lorsque l'écluse est fermée, le bassin se vide à un niveau plus bas que celui auquel l'eau s'arrête lorsqu'elle est levée, et M. Brown explique le phénomène par l'existence d'un siphon naturel. Il paraît y avoir encore sur divers points du promontoire d'autres ouvertures semblables, par lesquelles l'eau de la mer pénétrerait aussi dans les terres. Le même voyageur pense que ces eaux se rendent dans le voisinage des feux souterrains, et que les tremblements de terre, si fréquents dans l'île, sont causés par l'expansion du gaz que l'eau produit au contact du feu.

M. Boué (3) regarde cette disposition comme analogue à celle des *katavotrons* si communs en Grèce.

M. Einbrot (4), après avoir discuté les opinions émises par les anciens et par les modernes sur la cause de l'alimentation des sources à la surface du globe, s'attache à faire voir que les idées de Vitruve, précisées depuis par Mariotte et Halley, sont insuffisantes pour rendre raison de tous les phénomènes de ce genre, surtout pour expliquer la présence des cours d'eau dans les pays couverts de glace et de neige la moitié de l'année, et où la terre reste constamment gelée jusqu'à une très grande profondeur. Aussi l'auteur revient-il à cette idée de Lucretius Carus, développée par

---

(1) *Proceed. geol. Soc. of London*, vol. II, p. 220.

(2) *Ibid.*, p. 393. — *Comp. rend.*, vol. IV, p. 21. 1837.

(3) *Sur les courants d'eau de mer qui se précipitent dans l'intérieur de certaines îles Ioniennes* (*Bull.*, 2e sér., vol. II, p. 114. 1844).

(4) *Réflexions sur l'alimentation des sources* (*Bull. de la Soc. des nat. de Moscou*, n° 4, p. 33. 1837). — Voyez aussi : R. Fox, *Abstract of a paper*, etc. Extrait d'un mém. relatif aux sources (*Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXXVIII, p. 66. 1845).

Digitized by Google

Descartes, qu'une partie des eaux de la mer s'introduit par des fissures dans l'intérieur de la terre jusqu'à ce qu'elle trouve une température susceptible de la faire passer à l'état de vapeur. Cette dernière, remontant ensuite par d'autres fissures, se condense dans les roches et ressort par les orifices des sources. M. Einbrot cite à l'appui de cette théorie un assez grand nombre de faits et d'expériences qui lui donneraient un certain degré de probabilité si l'on pouvait apprécier, dans les exemples qu'il rapporte, toutes les circonstances accessoires du phénomène.

Nous emprunterons le passage suivant au grand ouvrage de M. Pierre de Tchihatcheff sur l'Altaï (1) :

« L'Altaï, tel que je viens de le délimiter, dit l'auteur, est sillonné » par un grand nombre de cours d'eau, dont plusieurs, non seule- » ment laissent bien loin derrière eux les grands fleuves de l'Eu- » rope et même de l'Asie méridionale, mais encore peuvent pré- » tendre aux premières places dans le système hydrographique du » monde connu. C'est ainsi que l'Ob, qui n'est pas le plus grand » fleuve de la Sibérie, tout en ayant à peu près 1,300 kilom. de lon- » gueur, n'est surpassé en Amérique que par le fleuve des Amazones » (1,507 kilom.) et le Mississipi (1,687 kilom.), et ne trouve » dans l'Asie méridionale et l'Afrique d'autres vainqueurs que le » Hoangho (1,368 kilom.) et le Nil (1,458 kilom.). A côté de ces » artères puissantes qui sillonnent le corps gigantesque du colosse » sibérien, nos plus splendides fleuves de l'Europe ne se présente- » raient donc que comme autant de modestes veinules qui colorent » à peine la surface polie d'une statuette de marbre. Auprès du » Yéniseï, par exemple, qui a 1,611 kilom. de longueur, que sont » le Rhin (378 kilom.), l'Elbe (342 kilom.), la Vistule (292 kilom.), » ou même les ondes classiques de l'Indus (760 kilom.), du Gange » (832 kilom.), et de l'Euphrate (823 kilom.) ?

» Le fleuve principal de l'Altaï est sans contredit l'Ob, dont les » immenses ramifications embrassent comme d'un réseau labyrin- » thique toute la surface de la contrée, et parmi lesquelles les ri- » vières suivantes se font particulièrement remarquer par leur » extension et le nombre de leurs affluents : l'Irtysch, la Katoune, » la Biya, le Tchoumysch, le Tome, l'Inia, l'Aleï et le Tcharysch.

» Lorsque l'on considère la direction principale des cours d'eau

(1) *Voyage scientifique dans l'Altaï oriental*, in-4. Paris, 1845, p. 325.

Digitized by Google

» qui sillonnent le vaste domaine de l'Altaï, on observe qu'elle pré- » sente fréquemment une concordance assez prononcée avec le dou- » ble type de la direction orographique et stratigraphique qui do- » mine dans ces contrées. En effet, non seulement une grande » partie des fleuves, rivières et torrents de l'Altaï coulent du N.-E. » au S.-O., et du S.-E. au N.-O., mais encore remarque t-on que » la première direction domine dans la partie de l'Altaï caractérisée » par des directions orographiques et stratigraphiques exactement » semblables, et que j'ai désignées par le nom d'Altaï occidental, tan- » dis que la seconde direction prévaut dans l'Altaï oriental (comme » par exemple dans les rivières d'Abakane, de Kentighir, d'Alach, » du Youss, d'Ouroup, etc.), où elle se manifeste également dans » les phénomènes orographiques et stratigraphiques. »

M. Featherstonhaugh (1), qui a fait plusieurs voyages à travers les États-Unis de l'Amérique du Nord, et qui a parcouru à diverses reprises, de l'E. à l'O., la grande vallée du Mississipi jusqu'aux montagnes Rocheuses, a cru reconnaître, en suivant le cours de toutes les rivières, dont les vallées étaient bordées d'escarpements élevés, que la gorge dans laquelle chacune de ces rivières coulait avait été découpée dans le terrain par la retraite d'une cataracte. Le Mississipi, par exemple, coule dans une vallée de ce genre. Depuis la chute de St-Antoine jusqu'à son embouchure, sur une étendue d'environ 2,000 milles, on observe des escarpements de 200 à 450 pieds de hauteur, séparés par des espaces de 1 à 2 milles 1/2, etc. L'auteur suppose que la quantité d'eau des anciennes rivières, infiniment plus considérable qu'elle ne l'est aujourd'hui, produisait aussi des cataractes beaucoup plus puissantes et opérait plus rapidement les excavations des lits rocheux des rivières par la retraite de ces mêmes cataractes.

La puissance mécanique de celle du Niagara a été l'objet des recherches de MM. E. R. Blackwell et Z. Allan (2). Après avoir obtenu, par un grand nombre de mesures, la hauteur de la chute, sa vitesse et son volume, ils ont estimé que l'effet mécanique de cette chute pouvait être évalué à la force de 4,533,334 chevaux. En 1835, continuent-ils, il y avait en Angleterre un

---

(1) *Sur les excavations des lits rocheux des rivières par la marche de leurs cataractes* (*Rep. 14th Meet. brit. Assoc. London*, 1845. — *L'Institut*, 13 oct. 1844.

(2) *L'Écho*, 28 nov. 1844.

Digitized by Google

mouvement par l'industrie de 194,000 chevaux de force, et en 1843 il a pu s'élever à 233,000 chevaux. Mais cette force n'agit que onze heures par jour et six jours par semaine, tandis que la chute du Niagara fonctionne incessamment, d'où il résulte que sa puissance mécanique est au moins 40 fois plus considérable que celle que met en œuvre toute l'industrie de la Grande-Bretagne. La masse d'eau qui passe en une minute est de 22,440,000 pieds cubes, et son poids de 701,250 tonnes, ou 1,402,500,000 livres.

Les grands lacs de l'Amérique du Nord (1) sont estimés contenir 11,300 milles cubes d'eau, quantité qui paraît dépasser de plus de moitié toutes les eaux douces du globe. Ils sont sans doute aussi les plus profondes dépressions de la surface des continents, car dans les lacs Huron et Michigan, dont le niveau est à 176 mètres au-dessus de la mer, le fond n'a pas été atteint avec une ligne de 548 mètres. La surface totale de ces lacs, (Supérieur, Baie-Verte, Michigan, Huron, St-Clair, Érié, Ontario et la rivière St-Laurent), est de 94,000 milles carrés.

Nous terminerons ce chapitre par quelques mots sur la théorie des cours d'eau situés à peu de distance au-dessous de la surface du sol et qui, par des recherches bien dirigées, peuvent donner lieu à des sources artificielles. Ce sujet, encore peu étudié, nous semble devoir fixer l'attention par les résultats économiques qu'il peut offrir. Nous ne parlons d'ailleurs que des sources et nullement des puits artésiens ni de leur théorie, dont nous nous occuperons plus tard. M. J.-J. Huot (2), que la science a perdu récemment, a fait connaître, dans une notice sur les principes suivis par l'abbé Paramelle pour la recherche des sources, en quoi consistaient ces principes eux-mêmes, mais plusieurs des doutes qu'il a exprimés à leur égard ne nous paraissent pas fondés.

Le principe fondamental, abstraction faite des terrains cristallins ou disloqués, est que *le cours des eaux souterraines suit la même loi que celui des eaux qui circulent à ciel ouvert*. Avec les réserves que nous avons faites, cette règle nous semble généralement vraie. Si les deux côtés d'une vallée sont au même niveau, c'est au milieu de la vallée qu'il faut chercher les eaux souterraines;

---

(1) *Amer. Journ.*, vol. XLVII, p. 21. 1844. M. Forrey, *Researches, etc.*

(2) (Soc. r. d'agriculture, etc., de Seine-et-Oise, Versailles).

Digitized by Google

et si les pentes sont inégales, le courant doit passer près du coteau le plus rapide. M. Huot trouve difficile l'application de ce second principe, parce que, suivant lui, les cours d'eau souterrains doivent occuper des vallées préexistantes comblées par des dépôts calcaires, mais pas assez complétement puisqu'elles sont encore reconnaissables; et il a recours alors à la composition des couches de la vallée plutôt qu'à leur disposition, pour rendre compte de la marche des eaux tant au-dessus qu'au-dessous de la surface. Mais c'est précisément ici qu'il faut faire une distinction sur laquelle repose probablement la théorie de l'abbé Paramelle et qui consiste à combiner les formes extérieures du sol avec sa composition, deux choses qui ne sont pas nécessairement liées, car la forme des vallées résulte au moins de quatre causes: 1° du relief du sol immergé après la formation de chaque couche; 2° des dislocations plus ou moins prononcées que ces couches ont éprouvées depuis; 3° des actions érosives et de dénudation qui sont venues façonner les dépressions; 4° enfin, du dépôt de remplissage qui s'est accumulé sur leur fond depuis la période actuelle.

Suivant M. Paramelle, il ne faut point chercher les cours d'eau souterrains à la naissance des vallons, mais après la réunion de plusieurs vallons secondaires à un vallon principal; et le point le plus favorable pour obtenir des eaux abondantes à peu de profondeur est celui qui, en s'éloignant davantage des vallées, se rapproche au contraire le plus des parties de la plaine où il y a le moins d'eau à la surface. Or, ceci nous paraît encore conséquent, quoique M. Huot y trouve une contradiction avec ce qui précède.

Les cours d'eau qui se jettent dans les fleuves sont d'autant plus considérables qu'ils forment avec ceux-ci un angle plus aigu, ou, ce qui revient au même, les vallées transversales sont beaucoup moins longues que les vallées longitudinales, ou bien encore ces vallées sont d'autant plus courtes qu'elles se rapprochent davantage de la perpendiculaire à la rencontre de la vallée principale, d'où M. Paramelle déduit que si, près d'une vallée, on trouve une eau souterraine peu abondante, elle doit se diriger vers celle-ci, en formant avec elle un angle presque droit, et que, si elle est très abondante, la ligne qu'elle suit doit former avec la vallée un angle très aigu, ce qui d'ailleurs rentre, comme on le voit, dans l'énoncé du premier principe. On conçoit que, d'après cette dernière règle, ainsi que le fait remarquer M. Huot, on puisse suivre la direction des cours d'eau souterrains, et que, d'après celle qui est relative à la pente

Digitized by Google

des eaux vers la vallée, on puisse assigner à la fois et la direction à suivre et la profondeur à laquelle il faut creuser pour découvrir une source.

Appendice bibliographique.

W. Ogilby. — *The application of the geology*, etc. Application de la géologie au desséchement des terres. Londres, 1844? (Voyez *l'Écho du monde savant*, 27 juin 1844.)

Lortet. — *Sur les rapports de la pluie dans la vallée de la Saône, d'après 14 points d'observation* (*Neu. Jahrb.*, 1844, p. 344-345).

S.-D. Bennigsen-Foerder. — *Das zahlen Gesetz*, etc. La loi numérique pour les formations, relativement à la distribution des vallées, des sources, des eaux courantes et stagnantes, des hauteurs, et des lieux habités, en particulier pour le nord de la France, avec des indications sur le rapport de la géologie avec la géographie particulière, sous le point de vue oro-hydrographique, statistique et historique, in-8. Berlin, 1843.

Lardy. — *Rapport sur les inondations dans les cantons d'Uri, du Valais et du Tessin* (*Verh. d. Schweitzer naturf. ges.*, Zurich, août 1841-1842, p. 164-195).

Althaus. — *Eau du petit lac près de Dens au nord de Richelsdorf (Hesse), qui devient quelquefois rouge* (*Neu. Jahrb.*, 1840, p. 84-85).

Strantz. — *Profondeur des lacs et du lac de Constance* (*Ann. de Berghaus*, vol. II, p. 154; vol. XIX, 3ᵉ sér., vol. VII, p. 205).

Pestalozzi. — *Hauteur des eaux du lac de Zurich depuis 30 ans* (*Verh. d. Schweitzer naturf. ges. zu Altdorf*, 1842, p. 235).

— *Les lacs de soude en Hongrie* (*Ann. de Berghaus*, 1840, 3ᵉ sér., vol. XXII, p. 563-576).

J.-C. Wutzke. — *Sur la concavité de la Lithuanie, ses canaux conduisant à Koenigsberg, en Pologne et en Russie, les digues de ses eaux et leurs inondations* (*Ann. de Berghaus*, vol. XII, c. 1, p. 1-58).

Forchhammer. — *Sur le lac Kopaïs et ses katavotrons* (*Ann. de Poggendorff*, vol. XXXVIII, p. 241).

C. Cramer. — *Etwas uber die natur wunder*, etc. Quelques réflexions sur les curiosités naturelles du nord de l'Amérique. 1ʳᵉ partie, avec 4 pl., comprenant les cavernes; 2ᵉ partie, in-8, avec carte et plusieurs planches, comprenant les sources, les rivières et les cascades. Sᵗ-Pétersbourg, 1837.

Jackson. — *Observations on the lacks*, etc. Observations sur les lacs, ou Essai pour expliquer les lois qui les concernent. Londres, 1833. — Voyez aussi : *Bibl. univ. de Genève*, vol. LV, p. 187. 1834.

J.-B. Gipson. — *Remarques sur la géologie des lacs de la vallée du Mississipi, suggérées par une excursion au Niagara en* 1833 (*Amer. Journ.*, n° 2, vol. XXIX. — *Bibl. univ. de Genève*, 2e sér., vol. II, p. 391).

J.-André Deluc. — *On the transverse valleys*, etc. Sur les vallées transverses ou ouvertures qui donnent passage aux rivières dans les chaînes de montagnes (*Edinb. new philos. Magaz.*, vol. XXVIII, p. 32. 1840).

A.-F.-P. Nowak. — *Die Rathsel unserer Quellen.* L'énigme de nos sources, in-8, 1 pl. Leipsick, 1844.

Digitized by Google

CHAPITRE VIII.

DÉPRESSIONS CONTINENTALES.

La grande dépression, attribuée par MM. Engelhardt et Parrot, en 1812, au niveau de la mer Caspienne relativement à celui de la mer Noire, a été l'objet de nouvelles recherches, par suite des doutes qui se sont élevés sur l'exactitude des premiers résultats. Bassin de la mer Caspienne.

M. A. Erman avait d'abord admis que la différence de niveau était de 84 mètres au lieu de 94 (1); mais, depuis, ce chiffre s'est encore beaucoup abaissé. La commission scientifique, envoyée en 1837 par le gouvernement russe pour vérifier le niveau de la Caspienne, trouva 101,2 pieds angl. (30m,80) pour sa dépression au-dessous de la mer Noire (2). M. Struve, dans son rapport, a donné ensuite, comme moyenne de mesures trigonométriques et barométriques, 101 pieds angl. (3), ou environ 94 9/10 pieds de roi (4), ou 30m,827 millim. L'abbé Chappe, en 1761, avait trouvé 51 toises 5 pieds 1 pouce (99m,10); mais il n'avait pas voulu admettre l'exactitude de sa propre détermination ni celle de M. Leere, et cette quantité était à peu près la même que celle obtenue 50 ans plus tard par MM. Engelhardt et Parrot (54t,47 et 55t,7 ou 106m,21 et 107m,19).

M. Hommaire de Hell, dans sa *Notice sur la différence de niveau entre la mer Caspienne et la mer d'Azof* (5), a rappelé d'abord que les opérations géodésiques de MM. Fuss, Sabler et Sowitsch, en 1839, avaient indiqué une dépression de 33m,70 et ensuite de 27 mètres seulement; puis il a présenté les résultats déduits par

(1) *Comp. rend.*, vol. II, p. 470. 1836.
(2) *Comp. rend. de l'Acad. impér. des sc. de St-Pétersbourg*, p. 35. 1837.
(3) *Bull. de l'Acad. impér. de St-Pétersbourg*, vol. III, p. 365. 1838. — *Ann. de Poggendorff*, 1840. — *Edinb. new phil. Magaz.*, vol. XXIX, p. 144. 1840.
(4) *Bull. Soc. de géogr. de Paris*, vol. XIII, p. 199.
(5) *Comp. rend.*, vol. XVI, p. 736. 1843. — *Bull.*, vol. XIV. p. 320. 1843.

Digitized by Google

lui-même d'un nivellement barométrique par stations, et qui lui ont donné une dépression de 18^{m},304 millim., c'est-à-dire le plus faible de tous les chiffres obtenus jusqu'à présent. M. de Hell pense que le niveau de la Caspienne était autrefois beaucoup plus haut et que cette mer intérieure se trouvait jointe à la mer Noire, suivant une ligne qui passait par les bassins de la Kouma et du Manich. Le point le plus élevé entre les deux mers se trouve près des sources de cette dernière rivière et n'est qu'à 24^{m},356 millim. au-dessus de la mer d'Azof. Rien ne prouve d'ailleurs jusqu'à présent que le bassin de la Caspienne offre une dépression du sol au-dessous de la courbure régulière du sphéroïde. La portion de son périmètre actuellement à sec est le résultat de l'abaissement du niveau des eaux; le Volga, l'Oural et l'Emba n'en apportant pas une quantité égale à celle qui s'évapore. Plusieurs oscillations de ce niveau, avant la période actuelle, ont laissé sur son pourtour le sol imprégné de sel, sans qu'il y ait pour cela une dépression de la croûte terrestre.

M. de Humboldt (1) a mentionné aussi, comme dépression moyenne résultant des calculs de MM. Sowitsch et Sabler, 81,4 pieds anglais (12 toises 72, ou 76 $\frac{32}{100}$ pieds de roi, ou 24^{m},79608) (2), chiffres assez différents des précédents que M. H. de Hell attribue à ces mêmes savants. M. de Humboldt reprend ensuite l'historique de cette question et discute les nombres obtenus ainsi que les méthodes employées. La surface déprimée, non recouverte par les eaux, et sans y comprendre la mer d'Aral qui paraît être plus élevée, est de 8,000 lieues marines carrées, et, en faisant entrer dans l'évaluation la Caspienne elle-même, on a, au-dessous du niveau général des mers, une surface de 18,000 lieues marines carrées, c'est-à-dire de 900 lieues plus grande que la France entière.

M. Arago (3), en rappelant l'opinion de Halley, qui avait attribué cette dépression au choc d'une comète, a fait voir toute l'invraisemblance de cette hypothèse et la probabilité, au contraire, que la cavité était une conséquence naturelle des grands soulèvements dont la surface de l'Asie a été le théâtre. Enfin, M. de Humboldt a déduit du relief du sol entre la mer Noire et la Caspienne et d'anciens documents, qu'avant que les ensablements et les dunes accumulés

---

(1) *Asie centrale*, vol. II, p. 300.
(2) *Bull. de l'Acad. de St-Pétersbourg*, vol. IV, n° 16.
(3) *Ann. du Bur. des longitudes*, 1832, p. 352-354.

Digitized by Google

par les vents eussent changé la surface du sol, et que la mer d'Azof eût été resserrée dans ses limites actuelles, un sillon avait pu conduire les eaux du Pont-Euxin à la Caspienne. Ce sillon aurait fait naître un courant pélagique de l'O. à l'E., semblable en petit à celui qui pénètre dans la Méditerranée par le détroit de Gibraltar.

Bassin de la mer Morte.

M. Schubert, au moyen du baromètre, et MM. Moore et Beek, par l'ébullition de l'eau, annoncèrent presque en même temps, au mois d'avril 1837, que le niveau de la mer Morte était fort au-dessous de celui de la Méditerranée (1) ; mais les résultats oscillant entre 500 et 1,100 pieds de roi (162 et 357 mètres), il était difficile de leur donner une grande confiance. Toutefois les deux voyageurs anglais s'accordaient pour une dépression de 181 mètres. M. le comte de Bertou fixa le premier et la même année, par des mesures barométriques, à 406 mètres la quantité de cette dépression.

M. Cailler, qui avait parcouru la Palestine, mais dans un autre but, discuta alors les résultats annoncés par M. de Bertou (2). Ce dernier avait reconnu en outre que l'extrémité méridionale du Ghor était bien fermée par une chaîne de collines transversales, mais que l'ouverture dans cette chaîne (*Ouedi-el-Araba*), que l'on avait prise pour un ancien lit du Jourdain, inclinait vers la mer Morte, au lieu de pencher au S. du côté de la mer Rouge, comme on l'avait cru depuis Burckhardt, opinion que d'ailleurs M. Cailler n'admettait point. M. de Bertou établit encore le point de partage des eaux qui se rendent au N. dans la mer Morte, et au S. dans la mer Rouge. Cette ligne de faîte, appelée *El-Sâte*, est plus rapprochée du château d'Akaba (41 milles géographiques), placé au fond du golfe Élanitique, que du bord méridional du lac Asphaltique dont il est éloigné de 51 milles géographiques.

Tout en n'adoptant pas la valeur des données hypsométriques obtenues par M. de Bertou pour la mer Morte ni pour Jéricho, M. Cailler n'en resta pas moins convaincu de l'existence réelle d'une dépression par rapport au niveau de la Méditerranée, dépression qui prouvait aussi que les eaux de la mer Morte n'avaient jamais pu couler dans la mer Rouge.

M. de Bertou (3) ayant repris l'année suivante ses observations

---

(1) *Journ. geogr. Soc. of London*, vol. VIII, p. 250.—Jameson's, *Edinb. phil. Journ.*, vol. XXIX, p. 96.

(2) *Bull. Soc. de géogr. de Paris*, 2e sér., vol. X, p. 84. Août 1838.

(3) *Nouv. ann. des voyages*, vol. I, p. 8. 1839.

Digitized by Google

dans la vallée du Jourdain, constata que les sources de cette rivière sont à 183 mètres d'altitude; puis, suivant son cours jusqu'à la mer Morte, il construisit un profil longitudinal de la vallée, qui montre que le lac de Sama-Chanite est déjà de 6^{m},4 au-dessous de la Méditerranée; celui de Tibériade, de 230^{m},3; et la mer Morte, de 419^{m},6 au-dessous du même niveau. La source du Jourdain est celle d'Hasbani, à 2 myriamètres au nord d'El-Cadih ou du rocher de Banian, regardé jusqu'alors comme la véritable source du fleuve. Tout le pays qui s'étend du Taurus à la mer Rouge est coupé par une série de vallées formant une ligne N., S. et communiquant entre elles. A partir de la rive méridionale de la mer Morte, le sol se relève jusqu'à El-Sâté, dont l'altitude, par rapport à la Méditerranée, serait de 160 mètres. Plus au sud, la vallée d'Akaba, comme l'avait dit M. Cailler, s'abaisse jusqu'au golfe Elanitique.

Dans le même temps, M. Cailler (1), reprenant les anciennes observations de M. de Bertou, celles de MM. Moore et Beek, enfin celles de M. Schubert, en concluait comme moyenne une dépression de 185 mètres pour la mer Morte. Il était d'ailleurs amené à ce chiffre par des considérations topographiques et par d'autres déduites du climat de la vallée du Jourdain, reconnu de tout temps comme plus doux et ayant une température plus élevée que le reste de la Palestine. Une différence de 5°,25 dans la température moyenne en faveur de la vallée du Jourdain comparée à celle de Jérusalem, dont l'altitude est de 720 mètres (de Bertou), donnait encore, en effet, d'après la loi du décroissement de température, une dépression de 258 mètres. Quant aux phénomènes géologiques auxquels l'auteur attribue cette cavité, une étude plus détaillée nous paraît nécessaire pour la justifier. Peut-être n'en est-il pas de même de la destruction des villes de la Pentapole due à quelque action volcanique, comme on l'a souvent répété.

M. Beek (2), dont nous avons déjà parlé, pense, au contraire, que le Jourdain coulait autrefois dans la mer Rouge, et que son cours a été interrompu par des convulsions volcaniques qui, en même temps qu'elles déterminèrent la formation du bassin actuel de la mer Morte, soulevèrent les hauteurs d'El-Sâté; quelques passages de l'Écriture sainte viendraient, dit-il, à l'appui de son opinion.

(1) *Bull.*, vol. X, p. 123. 1839.
(2) *Ann. des sc. géologiques*, vol. I, p. 612. 1842

Digitized by Google

M. David Wilkie (1) a trouvé la dépression de la mer Morte de 365 mètres ; et, depuis, les opérations trigonométriques de M. Symonds ont donné 427 mètres, c'est-à-dire 8 mètres seulement de différence avec la mesure barométrique de M. de Bertou. M. Russegger (2) a obtenu plus tard 434 mètres également par des mesures hypsométriques. Le mercure, qui avait atteint la partie supérieure du tube, ne marquait plus d'ailleurs exactement. Le même voyageur a déterminé, en outre, la hauteur de Jérusalem au-dessus de la Méditerranée à 2,479 pieds de roi, ou 805 mètres (M. de Bertou avait trouvé 720, et M. Wilkie 689 mètres); celle de Bethléem, à 2,538 pieds ou 824 mètres; puis, au-dessous du même niveau, le lac de Tibériade à 625 pieds ou 201 mètres, (M. de Bertou ayant trouvé 230^{m} 3, et M. Symonds 100 mètres).

Après avoir discuté les observations précédentes, M. Delcros (3) est arrivé à admettre, comme dernier résultat, une dépression de 426^{m},3 au-dessous de la Méditerranée pour le niveau du lac Asphaltique. L'accord des mesures obtenues par différents observateurs, à des époques différentes et avec des méthodes et des instruments divers aussi, ne lui permet pas de penser que la somme des erreurs possibles dépasse 30 à 40 mètres.

MM. Moore et Beek ont descendu dans la mer Morte une ligne de sonde de 300 brasses sans atteindre le fond (4). M. de Humboldt, qui a également résumé cette question (5), fait remarquer, comme l'avait rappelé M. Cailler, que M. Letronne (*Journal des Savants*) avait établi, à la suite de diverses considérations, la non-communication du Jourdain, dans les temps historiques, avec le golfe Elanitique de la mer Rouge.

Dépressions diverses.

Outre les autres dépressions continentales sous-océaniques, telles que les lacs Amers, au nord de Suez, et quelques petits étangs des côtes de Provence, M. Virlet a signalé, dans l'Afrique septentrionale (6), le lac Melghigh, dont le niveau paraît être à environ 53^{m},714 au-dessous de la mer. M. Angelot, qui a donné

(1) *Bull. Soc. de géogr. de Paris*, vol XVII, p. 140. 1842.
(2) *Ann. de Poggendorff*, 1841, n° 5, p. 186.
(3) *Bull.*, vol. XIV, p. 336. 1843.
(4) *Edinb. new phil. Journ.* Juillet 1840. — *Bibl. univ. de Genève*, vol. XXIX, p. 413.
(5) *Asie centrale*, vol. II, p. 321.
(6) *Comp. rend.*, vol. XXI, p. 51. 1845. — *Bull.*, 2e sér., vol. II, p. 349. 1845.

Digitized by Google

un résumé de la plupart des mesures hypsométriques précédentes dans ses *Recherches sur l'origine du haut degré de salure des lacs* (1), a publié en outre une *Note sur la dépression au-dessous du niveau de la mer de certaines parties de l'Afrique septentrionale, et plus particulièrement de l'oasis de Syouah ou d'Ammon* (2). Cette note fort intéressante, et dans laquelle l'auteur a rassemblé un grand nombre d'observations, se termine ainsi : « Je ne doute pas, dit-il (p. 439), que l'Afrique, avec ses vastes » déserts de sable et de sel, n'ait, comme l'Asie, une partie assez » notable de sa surface au-dessous du niveau des mers voisines ou » du moins de leurs plus hautes eaux. » Déjà cette prévision de M. Angelot, d'accord avec les vues de M. A. Boué, dont nous nous sommes occupé ci-dessus, se trouve confirmée par la découverte que vient de faire M. Rochet d'Héricourt (3) d'un lac salé situé dans le pays d'Adel, à quelques lieues de la mer Rouge, et dont le niveau serait à 200 mètres au-dessous du golfe Arabique. Ses rives sont bordées d'un large banc de sel cristallisé. Cette dépression, entourée de volcans éteints, paraît être l'extrémité d'un bras de mer, isolé par suite d'un soulèvement qui en a obstrué l'entrée.

Appendice bibliographique.

SCHUBERT. — *Reise in das Morgenland*, etc. Voyage en Orient en 1836 et 1837, 3 vol. in-8. Erlangen, 1839.

RUSSEGGER. — *Voyage du Caire en Palestine, et mesures barométriques de la mer Morte* (*Ann. de Berghaus*, vol. XIX, 3e sér., p. 420-434. 1839).

PARTHEY. — *Les dépressions terrestres sous le niveau de la Méditerranée* (*Ann. de Berghaus*, vol. XIX, 3e sér., p. 327-334, 1839).

GOEBEL. — *Différences de hauteur entre la mer Noire et la mer Caspienne* (*Monastber. ges. f. Erdk.*, Berlin, 1839, vol. I, p. 18).

LETRONNE. — *Sur la séparation primitive du bassin de la mer Morte et de la mer Rouge*, in-8.

BERGHAUS. — *Compilation des notices géographiques et géologiques sur le bassin de la mer Morte et celui de la mer Rouge, par MM. Letronne, de Berthou, Cailler, de Humboldt* (*Ann. de Berghaus*, vol. I, 4e sér., p. 201-250, 1842).

---

(1) *Bull.*, vol. XIV, p. 356. 1843.
(2) *Ibid.*, 2e sér., vol. II, p. 416. 1845.
(3) *Comp. rend.*, vol. XXI, p. 883. 1845.

Digitized by Google

TROISIÈME PARTIE.

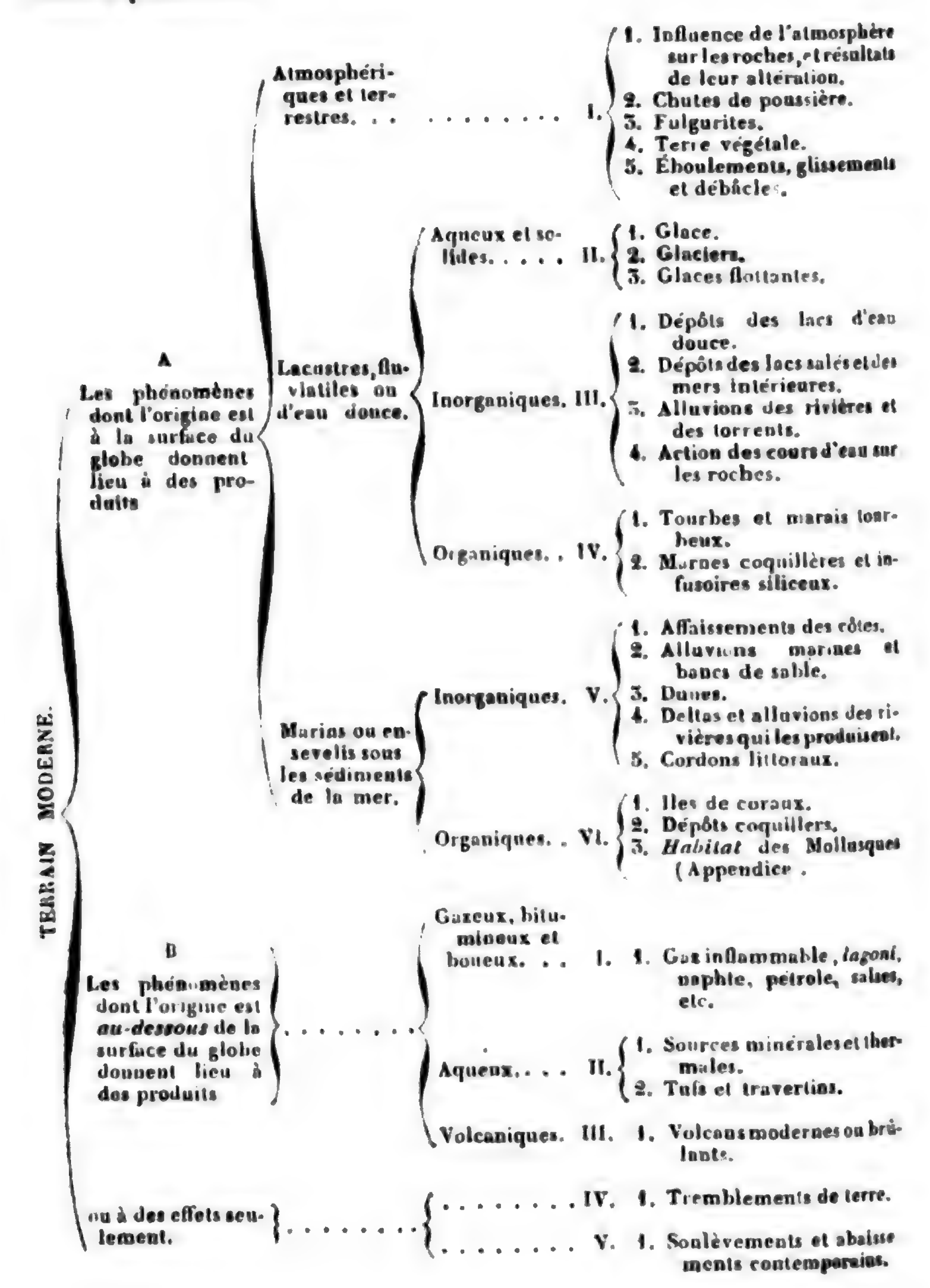
TERRAIN MODERNE.

Quoique nous soyons loin de penser que les phénomènes organiques et inorganiques qui se passent sous nos yeux puissent jamais, quelque prolongée qu'on suppose leur action, expliquer tous ceux qui ont eu lieu pendant les périodes géologiques et tous les effets qui s'y sont produits, nous devons cependant reconnaître que l'étude des causes et des résultats actuels est la base la plus certaine que nous ayons encore pour l'explication rationnelle du passé. Mais c'est seulement depuis peu que cet examen sérieux du présent a pris une direction convenable, et que l'on a su apprécier dans chaque fait observé les circonstances qui pouvaient le rattacher à un fait analogue qui aurait laissé des traces dans les époques anciennes. Cette tendance à relier les phénomènes actuels à ceux qui les ont précédés, non d'une manière hypothétique et vague, mais par suite d'une analyse comparative des uns et des autres, est une de celles qui caractérisent le mieux la marche de la science dans ces dernières années; nous devons donc nous attacher à faire connaître les travaux de ce genre, en leur accordant toute l'importance qu'ils méritent, d'abord comme nous initiant plus intimement à ce qui se passe autour de nous, et ensuite comme nous permettant de remonter, par les lois d'une saine analogie, à l'intelligence des faits depuis longtemps accomplis.

Le tableau ci-joint indique les divers sujets que nous traiterons successivement, ainsi que leurs rapports mutuels. Ils se divisent en deux grandes classes, dont l'une comprend les produits des causes qui, agissant directement à la surface de la terre, tendent à la modifier, et l'autre embrasse les phénomènes qui ont leur source placée au-dessous de cette même surface. Les produits de la première classe sont, suivant leur origine, *atmosphériques*, *terrestres*, *lacustres* ou *d'eau douce* et *marins;* puis ils se subdivisent en *produits inorganiques* et *organiques*, et ces derniers en

Digitized by Google

produits animaux et *végétaux*. Ceux de la seconde classe sont en général inorganiques; leurs causes échappent encore à l'observation directe; aussi ont-ils été l'objet de nombreuses hypothèses que nous exposerons.



Digitized by Google

CHAPITRE PREMIER.

PHÉNOMÈNES DONT L'ORIGINE EST A LA SURFACE DU GLOBE.

PRODUITS ATMOSPHÉRIQUES ET TERRESTRES.

§ 1. Influence de l'atmosphère sur les roches, et résultats de leur altération.

Les roches qui, dans la nature, contribuent le plus à former de nouveaux sédiments, par suite de leur altération et de leur désagrégation dues aux agents atmosphériques, sont principalement les roches silicatées alumineuses, à base de potasse ou de soude; et parmi leurs éléments constituants, le feldspath doit être regardé comme l'origine de la plupart des roches argileuses, de même que le quartz est la source des roches arénacées siliceuses. Les altérations du feldspath des roches cristallines sont donc les plus importantes à considérer (1).

Dans son *Premier mémoire sur les kaolins* (2), M. Alexandre Brongniart, à qui la science doit de si mémorables travaux et une si heureuse impulsion, ne considère point d'abord cette substance comme une espèce minérale, à cause des variations que l'on observe dans sa composition; ensuite il distingue les kaolins qu'il appelle normaux, tels que ceux qui entrent comme partie plastique et infusible dans les porcelaines de Sèvres, de Limoges, de Saxe, de Bohême, de Vienne, etc., et qui résultent de la décomposition des granites et des pegmatites. Cette dernière roche est celle qui donne les meilleures argiles à porcelaine. Les véritables roches kaoliniques, dit M. Brongniart, se trouvent à la place même où les roches cristallines dont elles proviennent se sont solidifiées. Le plus ordinairement, ce sont les pegmatites, le gneiss, les granites,

(1) M. Ed. Hitchcock (*Boston Journ. of nat. history*, vol. I, p. 67. 1837) a signalé cependant un fait relatif à l'altération d'une roche de quartz par l'action de l'atmosphère.

(2) *Premier mémoire sur les kaolins* (*Arch. du Mus. d'hist. naturelle*, vol. I, p. 243. 1839. — *Bull.*, vol. X, p. 56.) — *Second mémoire sur les kaolins*, par MM. Alex. Brongniart et Malaguti, *ibid.*

Digitized by Google

les eurites compactes ou schistoïdes, les diorites et les porphyres, c'est-à-dire toujours des roches feldspathiques.

Le savant auteur signale encore les irrégularités des veines ou lits sinueux et interrompus de kaolin qui se présente aussi sous forme de nodules, d'ellipsoïdes ou de sphéroïdes. Les couleurs sont vives et variées de brun, de rouge, de rosâtre, de jaune, de vert foncé ou clair, alternances qui ont fait penser que l'on pourrait peut-être y trouver les éléments d'une pile dont la formation du kaolin serait le résultat. Cette hypothèse recevrait, en effet, quelque probabilité de la présence de roches ferrugineuses dans toutes les exploitations de ce genre. S'il en était réellement ainsi, nous eussions dû renvoyer ce sujet, soit au chapitre des filons, soit à celui des phénomènes électriques ou électro-chimiques; mais l'origine du kaolin ayant été attribuée aussi à des actions dont les causes premières se trouvent dans l'atmosphère ou en proviennent, nous avons préféré en traiter ici.

Après avoir étudié les circonstances qui accompagnent le passage des roches à l'état de kaolin, M. J. Fournet (1) a établi que ce dernier état résulte de deux causes qui paraissent être indépendantes: l'une chimique et l'autre purement mécanique; celle-ci se manifestant par une désagrégation intime qui précède toujours l'autre. Cette désagrégation commence en général par le côté libre de la roche, procède de dehors en dedans, et se propage sans interruption jusqu'à une grande profondeur, ce qui d'ailleurs a lieu dans les roches pyroxéniques comme dans les roches feldspathiques. Cette première action mécanique serait suivie d'une action chimique de nature variable suivant les corps en présence, mais due particulièrement à l'acide carbonique contenu dans l'eau ou dans l'air, et qui réagirait sur les silicates en déplaçant leur élément électro-négatif et en s'emparant de préférence des bases les plus solubles et les plus fortes.

M. Ebelmen, l'un des chimistes français les plus distingués, a repris la question sous un point de vue plus général dans ses *Recherches sur les produits de la décomposition des espèces minérales de la famille des silicates* (2). En comparant dans leur ensemble

---

(1) *Mémoire sur la décomposition des minerais d'origine ignée et leur conversion en kaolin* (*Ann. de chim. et de phys.*, vol. LV, p. 217. 1834.)

(2) *Ann. des mines*, 4ᵉ sér., vol. VII, p. 1. 1845. — *Comp.*

Digitized by Google

la composition chimique des roches ignées et celle des terrains stratifiés, on voit que dans les premières toutes les bases se trouvent au même état de combinaison, tandis que dans les formations sédimentaires on retrouve à la vérité les mêmes éléments, mais les groupements sont beaucoup plus simples, et le mode de combinaison, au lieu d'être uniforme pour toutes les bases, est essentiellement variable d'une base à l'autre, suivant l'énergie des affinités de chacune d'elles.

Après avoir indiqué l'état et les combinaisons de la silice, de la chaux, de la magnésie, du fer et du manganèse dans les dépôts aqueux, l'auteur fait voir que ces derniers renferment tous les éléments des roches ignées, et, de plus, des acides qui n'existaient dans celles-ci qu'en faible proportion. « Or, dit-il, si les terrains » de sédiment avaient été produits par une simple désagrégation » des roches d'origine ignée, il est évident qu'on retrouverait dans » les roches arénacées, les argiles par exemple, les mêmes élé» ments que dans les premières, dans les mêmes proportions et » dans le même état de combinaison. Or, les argiles sont de vérita» bles combinaisons, en proportions variables, de silice, d'alumine et » d'eau, et elles possèdent des qualités physiques et chimiques fort » différentes de celles qui appartiennent aux silicates des roches » ignées. Nous sommes donc en droit d'en conclure que la des» truction de celles-ci a été accompagnée, dans la plupart des cas, » de la décomposition des minéraux qui les constituaient. »

M. Ebelmen examine les minéraux et les roches dans leurs altérations; puis cherchant quelles sont les modifications qu'ils ont subies dans leurs éléments constituants, depuis l'état parfait jusqu'à une entière décomposition des silicates par les agents atmosphériques, il arrive à reconnaître :

1° Que dans la décomposition des silicates contenant de la chaux, de la magnésie, des protoxydes de fer et de manganèse sans alumine, on trouve constamment que la silice, la chaux et la magnésie sont éliminées et tendent à disparaître complétement par le fait de la décomposition. Mais tantôt le fer et le manganèse restent dans le résidu à un état d'oxydation supérieur au protoxyde (bisilicate de

---

rend., vol. XX, p. 1415. 1845. — Voyez aussi : Renou, *Du kaolin considéré dans ses rapports géologiques, et des causes qui ont précédé sa formation* (*Comp. rend.*, vol. IX, p. 131. 1839).

Digitized by Google

manganèse, bustamite), tantôt ils disparaissent comme les autres bases (péridot, augite du basalte d'Auvergne).

2° Que dans la décomposition des silicates contenant de l'alumine et des alcalis avec ou sans autres bases, l'expérience prouve que l'alumine se concentre dans le produit de la décomposition, en retenant une portion de la silice et en fixant une certaine quantité d'eau, et que les autres bases sont entraînées avec une grande partie de la silice. Le produit final de la décomposition se rapproche de plus en plus d'un silicate d'alumine hydraté. Ce principe comprend, comme cas particulier, la décomposition du feldspath et sa transformation en kaolin.

MM. Berthier, Forchhammer, Alex. Brongniart et Malaguti avaient expliqué la décomposition du feldspath par le dédoublement de sa molécule en silicate alcalin entraîné par l'eau et en silicate d'alumine demeurant comme résidu. La soustraction de la silice avait été considérée comme la conséquence de la présence de l'alcali; mais M. Ebelmen fait voir que les silicates sans alcali pouvaient perdre leur silice aussi facilement, et plus complétement même, que les feldspaths; aussi attribue-t-il l'entraînement de la silice à sa solubilité, à l'état naissant, dans l'eau pure ou chargée d'acide carbonique. Il démontre ensuite les diverses circonstances du phénomène, et prouve que, quant à l'alumine, qui n'est soluble ni dans l'eau pure ni dans l'eau chargée d'acide carbonique, elle forme le résidu insoluble de la décomposition, en retenant une certaine quantité de silice pour constituer une argile.

Passant aux actions chimiques auxquelles on peut attribuer la décomposition des silicates, il rappelle l'opinion de M. Fournet, que nous venons de mentionner, et pense qu'en effet l'acide carbonique et l'oxygène peuvent produire la décomposition des silicates, ainsi que les matières organiques, etc. Or, de ces actions, il résultera des sels solubles que les eaux entraîneront dans le réservoir commun, et il se formera des carbonates terreux, des carbonates purs, des argiles et des grès, de composition infiniment variée quant à la proportion des éléments qui les constituent. Enfin, l'auteur termine par l'examen des relations qui existent entre les altérations des silicates et la composition de l'air atmosphérique, ainsi que par celui des causes générales qui tendent à modifier cette composition.

M. Becquerel a indiqué, de son côté, quelles ressources on pou-

vait tirer de l'électro-chimie appliquée à la décomposition des substances minérales, et il a fait voir que pour constituer un appareil électro-chimique dans la terre, il suffisait du contact d'une pyrite décomposable à l'air, avec l'eau et un corps conducteur quelconque (1).

Il existe, comme on sait, dans le département de la Manche et dans ceux du Finistère (2) et des Côtes-du-Nord (3), des dépôts récents d'argile et de kaolin plus ou moins impurs, qui paraissent résulter de la décomposition, dans l'époque actuelle, de roches cristallines feldspathiques. Dans le département de l'Allier, des dépôts ferrugineux ont été signalés par M. Boulanger (4) comme formés par les eaux qui sortent des mines de houille, où elles se chargent de sulfate de fer par la décomposition des pyrites.

On a aussi cherché à tirer quelques inductions de l'action de l'atmosphère sur les matériaux employés dans les anciennes constructions ; ainsi, M. Becquerel (5), ayant observé, sur la face nord de la cathédrale de Limoges, que la partie décomposée du granite avait de 7 à 9 millimètres d'épaisseur, et que, dans une carrière où l'on suppose que les pierres ont été prises, la couche altérée a 1^{m},62, en a conclu que le granite de la carrière avait commencé à s'altérer depuis 7,500 ans. Comme cette observation du savant académicien a été reproduite dans plusieurs ouvrages, nous croyons devoir faire remarquer à son égard : 1° que dans l'exemple cité, la décomposition du granite varie d'une pierre à l'autre, suivant le grain de la roche. Ainsi le granite à grain fin est à peine altéré, tandis que celui dont les éléments sont plus gros est décomposé jusqu'à la profondeur de 6 à 7 millimètres ; 2° que ces différences se remarquent non seulement entre les pierres d'une même assise, mais encore lorsque l'on considère ces assises en allant de bas en haut ; à mesure qu'on s'élève, l'altération est de plus en plus faible,

---

(1) *Nouvelle application de l'électro-chimie à la décomposition des substances minérales* (*Comp. rend.*, vol. XXII, p. 781. 1846).
(2) De Fourcy, *Carte géologique du départ. du Finistère. Explication*, p. 161. 1844.
(3) Id., *Carte géologique du départ. des Côtes-du-Nord. Explication*, p. 161. 1844.
(4) *Statistique géologique et minéralogique du départ. de l'Allier*, in-8, avec atlas. Paris, 1844, p. 230.
(5) *Bull. de la Soc. des sc. nat.*, 20 déc. 1833; janv. 1835, n° 1, p. 4.

Digitized by Google

et à 10 ou 12 mètres au-dessus du sol, elle est presque nulle, ou bien l'on n'aperçoit qu'un très petit nombre de pierres attaquées; 3° que le granite taillé et formant une muraille ne se trouve pas dans les mêmes conditions que celui qui constitue une roche à la surface du sol. Les faces taillées et plus ou moins polies sont moins susceptibles de s'altérer, toutes choses égales d'ailleurs. En outre, quatre ou cinq de ces faces, suivant que la pierre est aux angles ou dans le plein du mur, sont à l'abri des causes d'altération, et celles qui sont placées verticalement et en dehors se sèchent rapidement lorsqu'elles sont mouillées. La roche en place, au contraire, dont la surface inégale et rugueuse est couverte de gazon ou d'un commencement de détritus, est presque constamment soumise à l'action de l'humidité qui y séjourne et de l'eau qui, s'infiltrant dans les fissures, y doit favoriser les altérations et les désagrégations d'une manière beaucoup plus énergique.

M. Fleuriau de Bellevue (1) a également donné quelques observations sur la décomposition des murs et des rochers à diverses hauteurs au-dessus du sol. Ce vénérable savant est porté à regarder cet effet comme une action chimique de l'atmosphère, semblable à celle qui donne lieu à la nitrification. Cette action exigerait peut-être que l'on recherchât si la composition de l'air, dans le voisinage du sol, ne serait pas modifiée par quelque émanation gazeuse qui se maintiendrait à ce niveau.

§ 2. Chutes de poussière.

Parmi les phénomènes où l'atmosphère intervient, du moins comme cause mécanique, nous signalerons les chutes ou pluies de poussière. M. Clarke rapporte (2) que le vaisseau sur lequel il se trouvait, étant à 45 milles de Fuego, l'une des îles volcaniques de l'archipel du cap Vert, il tomba sur le pont une poussière rouge-brun ou espèce de pumice triturée semblable aux cendres du Vésuve et bien distincte des sables de l'Afrique. Les circonstances atmosphériques qui accompagnèrent le phénomène lui font penser que ces cendres provenaient de l'une des îles du cap Vert. L'auteur

(1) *Comp. rend.*, vol. XIV, 30 mai 1842. — *L'Institut*, 2 juin 1842.

(2) *A notice of showers*, etc. Notice sur les pluies de cendre qui tombèrent à bord du *Roxburgh* en février 1839, à la hauteur des îles du cap Vert (*Proceed. geol. Soc. of London*, vol. III, p. 145.)

Digitized by Google

mentionne en outre un grand nombre d'autres pluies semblables qui sont tombées à des distances considérables du volcan d'où l'on suppose qu'elles sortaient.

Le 12 janvier 1839, on a recueilli à bord du navire le *Baobab*, qui se trouvait à 40 lieues dans l'E.-N.-E. d'Achem (île de Sumatra), une poussière grise, très fine, cinériforme, composée de grains transparents, de grains noirs et d'autres plus petits et brillants. Un fait du même genre a eu lieu sur un autre bâtiment dans la baie de Galane, au Sénégal (1). A bord du vaisseau *le Niantic*, naviguant, le 5 avril 1840, à 60 milles à l'O. de Mindanao, l'une des Philippines, il tomba, à 2 heures du matin, par une brise du N.-E., un pluie de cendre qui recouvrit le pont d'une couche de 6 à 7 millimètres d'épaisseur. Cette pluie, pendant deux autres jours, se renouvela à plusieurs reprises. Le 5 avril, un vaisseau anglais avait reçu la même pluie, se trouvant à 300 milles au N.-O. du *Niantic*.

Les chutes de poussière ont été également observées sur la terre ferme; ainsi M. Dufrénoy a fait connaître les résultats qu'il avait obtenus de l'*Examen chimique et microscopique d'une poudre recueillie à Amphissa, en Grèce, à la suite d'une pluie douce* (2). Cette pluie s'était étendue sur presque tout le Péloponèse, dans la nuit du 24 au 25 mars 1842. Elle tenait en suspension une matière terreuse, rougeâtre et très fine. Les toits des maisons et les feuilles des arbres étaient recouverts d'une couche mince de ce limon. Sous le microscope, le savant géologue que nous venons de citer y reconnut des cristaux anguleux et fragmentaires de quartz, de feldspath, des grains rougeâtres analogues au grenat, des lamelles de mica, des grains noirs brillants de fer titané, des grains de tourmaline, de carbonate de chaux, enfin tous les éléments qui composent les roches anciennes et les roches calcaires du sol de la Grèce. M. Dufrénoy avait déjà été conduit à un résultat semblable par l'analyse d'une pluie argileuse tombée pendant un temps d'orage au Vernet, dans la vallée du Tet (Pyrénées orientales). En Grèce, on peut penser que la poussière, aspirée par une sorte de trombe, ou soulevée par les gaz qui s'échappent quelquefois du sol en assez grande quantité lors des tremblements de terre, se sera distribuée d'une

(1) *Bull.*, vol. XI, p. 370. 1840. — *Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXXII, p. 134.
(2) *Comp. rend.*, vol. XV, p. 580. 1842.

Digitized by Google

manière uniforme dans un nuage qui l'aura retenue en suspension plus ou moins longtemps.

D'après M. de Gallois, un fait semblable s'est produit en 1813 à Idria. Il tomba une neige colorée en rouge, et l'on reconnut que la matière colorante était une poussière composée de grains noirs, de paillettes de mica, de calcaire, de peroxyde de fer, de titane, etc. Enfin, des diverses circonstances dans lesquelles ces chutes de poussière limoneuse se produisent, M. Dufrénoy conclut que la plupart des pluies chargées de matières terreuses ont pour origine les causes sans cesse agissantes à la surface de la terre; que ce phénomène, quoique local, est susceptible d'un certain développement, et que les matières pulvérulentes soulevées dans l'atmosphère peuvent rester suspendues dans les nuages pendant un temps assez long.

Dans certains cas, la poussière seule peut constituer des nuages considérables; ainsi M. Élie de Beaumont rapporte (1) que le 25 août 1842, on vit à Heidelberg un vaste nuage de poussière qui tomba par un vent très violent et qui couvrit de sable une surface de plus de 500 kilomètres carrés.

Les journaux d'Édimbourg avaient signalé une chute de poussière volcanique dans l'une des Orcades, au mois de septembre 1845 (2); et M. Descloiseaux, qui a été témoin de ce fait, a bien voulu nous communiquer les renseignements suivants, qui montrent sur quelle grande surface il s'est manifesté. L'éruption de l'Hékla, après un repos de 53 ans, commença le 2 septembre 1845, à 9 heures du matin (3), et les cendres, par suite de la direction du vent, ont été poussées et transportées vers le S.-E. Les deux îles méridionales du groupe des Féroë, Landœ et Lüderæ, ont reçu, dans la matinée du 3 septembre, par un vent assez frais du N.-O., une pluie de cendre de couleur brune, fine et à odeur sulfureuse, tandis que les autres îles n'en ont point présenté de traces. Des cendres tombèrent aussi sur un bâtiment qui, le même jour, par un vent de N.-O., allait de Liverpool en Irlande. Un autre vaisseau, naviguant de Hall en Irlande et se trouvant près de Fairholl, reçut également des cendres le 3, de même qu'un navire qui retournait d'Irlande à Copenhague et se trouvait près des Orcades.

(1) *Leçons de géologie pratique*, vol. I, p. 187. 1845.
(2) *L'Institut*, oct. 1845, p. 356.
(3) *Ann. de Poggendorff*, vol. LXVI, p. 158, oct.-nov. 1845.

Digitized by Google

M. Descloiseaux a vu, le 3 septembre, au matin, des cendres sur un des bâtiments de la station mouillée dans la rade de Lerwick (Shetland). Plusieurs habitants de ces îles remarquèrent, dans la matinée du même jour, un dépôt rougeâtre à la surface de la mer, et des lettres arrivées des Orcades, le 5 ou le 6, annonçaient qu'on y avait recueilli dans les jardins, sur les plantes potagères et sur les vitres des serres, une quantité notable de cendre très foncée. Enfin, quelques bateaux pêcheurs, qui se trouvaient à la mer, à cette époque, en avaient aussi reçu une grande quantité. Ainsi la cendre rejetée de l'éruption de l'Hékla, dans la matinée du 2 septembre, aurait mis environ 24 heures dans son trajet jusqu'aux côtes nord de l'Irlande, distantes d'environ 300 lieues en ligne droite (1). Plus récemment, des cendres volcaniques, tombées sur l'une des îles Shetland, au mois de février 1847, paraissent se rattacher à une éruption qui aurait eu lieu en Islande vers cette époque, d'après les renseignements qu'ont donnés quelques journaux.

M. W. B. Clarke a publié un *Mémoire sur les dépôts atmosphériques de poussière et de cendre* (2); travail qui est le résumé historique des faits connus relatifs à ce genre de phénomène et qui, avec le suivant, présente un tableau complet de tous les documents acquis à la science.

Jusqu'à présent, les chutes de cendre, de sable ou de poussière, soit seules, soit retombant avec la pluie ou la neige, ne nous avaient fait connaître que les éléments inorganiques des roches volcaniques, cristallines ou sédimentaires, transportés par des courants aériens, mais les découvertes récentes ont étendu au règne organique lui-même ce mode de transport des particules de la matière.

Dans son *Rapport sur la poussière qui tombe à bord des vaisseaux dans l'Océan Atlantique* (3), M. Ch. Darwin a fait remarquer que c'est dans les parages du cap Vert que cette circonstance a été le plus fréquemment observée, depuis 2° 56′ lat. N. jusqu'à 28° 45′, et à des distances de 450 à 850 milles de cet archipel; ainsi elle a été constatée sur une étendue de 1,600 milles en latitude. La poussière, qui trouble souvent les eaux de la mer, a été recueillie sur des vaisseaux à 300 et 600 milles de la côte d'Afrique. En 1840,

(1) Voyez, pour la composition de ces cendres, l'*Appendice*, à la fin du chapitre III, quatrième partie, *posteà*.

(2) *Tasmanian Journ.*, vol. I, p. 321. 1842.

(3) *An account of the fin dust* (*Quart. Journ. geol. Soc. of London*, vol. II, p. 26. 1846).

Digitized by Google

le navire *la Princesse Louise* se trouvant à 1,030 milles à l'O. du cap Vert, le point le plus rapproché du continent, fut couvert de poussière. 15 autres chutes du même genre sont signalées par M. Darwin, et toujours avec des vents soufflant entre le N.-E. et le S.-E. On a remarqué que le nuage était d'autant plus épais qu'on se trouvait plus près de la côte d'Afrique.

M. Ehrenberg (1) a reconnu que celles de ces poussières qu'il a examinées étaient composées en grande partie d'infusoires comprenant environ 67 formes, dont 32 de polygastriques à carapaces siliceuses, 34 de *phytolitharia* ou tissus siliceux de plantes, et 1 polythalame; 1 seule espèce s'est trouvée nouvelle, 2 étaient marines, et toutes les autres provenaient des eaux douces. Toutes aussi étaient desséchées et ne présentaient aucune partie molle. La plupart de ces formes sont très répandues sur les divers points du globe. 4 sont communes à la Sénégambie et au sud de l'Amérique ; 2 sont particulières à ce dernier continent. Les autres sont d'ailleurs différentes de celles que M. Ehrenberg connaissait comme caractéristiques du Sahra et des régions de la Sénégambie, mais on ne peut douter que ces nuages de poussières organisées ne viennent du continent africain.

Une poussière qui tomba à Gênes, le 16 mai 1846, fut soumise à M. Ehrenberg (2), qui y détermina 22 formes de polygastriques et 21 de *phytolitharia* avec du pollen de plantes et des spores de *Puccinium*.

Les variétés de poussière qui, depuis 1830, sont tombées dans l'Atlantique jusqu'à 800 milles en mer à l'ouest de la côte d'Afrique, sur les îles du cap Vert et même à Malte et à Gênes, se ressemblent par les caractères suivants : 1° toutes sont jaune d'ocre et jamais grises comme la poussière de la khamsun dans le nord de l'Afrique; 2° la couleur est produite par l'oxyde de fer; 3° 1/6 à 1/3 de la masse consiste en parties organiques reconnaissables; 4° ce sont des polygastriques siliceux et des *phytolitharia*, puis des portions de plantes charbonnées et de polythalames calcaires; 5° le plus grand nombre des 90 espèces déjà reconnues se trouve également dans les plus éloignées des localités que nous venons de

(1) *Monastber. der Berlin Akad. der Wissens.*, mai 1844 et 27 février 1845.

(2) *Berlin Monastbericht for*, 1846, p. 202-207. — *Quart. Journ. geol. Soc. of London*, n° 10, mai 1847, p. 25.

Digitized by Google

citer ; 6° les formes les plus nombreuses sont partout des productions terrestres ou d'eau douce, et l'on n'y a rencontré que quelques espèces marines ; 7° elles ne se sont présentées desséchées dans aucun cas, et les espèces vivantes, à l'exception du pollen et des spores, n'ont point offert de traces de fusion, de calcination ou de carbonisation ; 8° la poussière de Gênes, quoique apportée par le *sirocco*, ne renfermait pas plus que les autres de formes caractéristiques africaines, lesquelles ont été reconnues dans tous les échantillons de boue recueillis en Afrique ; l'une de ces formes, au contraire, le *Synedra entomon*, est certainement une espèce caractéristique de l'Amérique du Sud. On doit remarquer, en outre, que les observations faites jusqu'à présent en Europe, et qui sont en petit nombre à la vérité, ont toujours eu lieu le 15 ou le 16 du mois de mai ; aussi M. Ehrenberg se demande-t-il s'il n'y aurait pas, dans la région des vents alisés qui sont particulièrement à cette époque dirigés vers l'Europe, un courant d'air qui unissant l'Amérique et l'Afrique transporterait cette poussière avec lui. On voit qu'il y a dans ces conclusions une certaine contradiction avec celles que le même savant avait émises l'année précédente.

§ 3. **Fulgurites.**

M. Ch. Darwin (1) a trouvé dans des collines de sable, à quelques milles de Maldonado (au nord du Rio de la Plata), des tubes siliceux vitrifiés, qu'il suppose résulter de la pénétration de la foudre dans le sable, et qui ressemblent à ceux qui ont été signalés à Drigg, dans le Cumberland (2). Leur longueur a été reconnue de 5 pieds 3 pouces ($1^m,70$). Ceux de Drigg avaient été suivis jusqu'à 30 pieds environ (10 mètres) de profondeur dans la terre. La paroi interne de ces tubes est complétement vitrifiée, et son épaisseur est de $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{20}$ ou $\frac{1}{30}$ de pouce. On n'y aperçoit point de cristallisation. Les tubes sont généralement comprimés, sillonnés dans leur longueur, et ont de 2 à 3 pouces (54 à 80 millim.) de circonférence (3). M. Darwin en a reconnu trois placés verticale-

(1) *Narrative of the Surveying*, etc. Relation, etc., vol. III. — *Journal et remarques*, in-8, London, 1839, p. 69.
(2) *Transac. geol. Soc. of London*, vol. II, p. 528.
(3) Voyez Hachette et Beudant, *Fulgurites artificielles* (*Ann. de chim. et de phys.*, vol. XXXVII, p. 319).

Digitized by Google

ment et un quatrième incliné qui se ramifiait à ses deux extrémités. On sait qu'à Drigg on trouva trois tubes dans un espace de 15 mètres et qu'il en fut de même en Allemagne (1). Il paraît peu probable que ces tubes soient le résultat de chocs successifs et distincts, la foudre devant se diviser avant d'entrer dans le sol où ils seraient tous alors formés en même temps.

§ 4. Terre végétale.

La terre végétale, dit M. Élie de Beaumont (2), est un monument d'une haute antiquité, et, par le fait seul de sa permanence, c'est un objet digne d'occuper le géologue et susceptible de lui fournir des remarques intéressantes. On en trouve en effet des preuves dans les monuments et les travaux des hommes, tels que le sol des villes, les ponts romains, les pierres druidiques, etc., dont les uns attestent la stabilité du niveau du sol des plaines et des vallées, les autres la constance du niveau des mers. Les camps romains, tels que ceux d'Attila (Marne), de César (Laon, Vermand, Dieppe), démontrent également combien sont faibles les dégradations amenées par le temps sur les pentes recouvertes de gazon. Il en est de même des tumulus, soit de l'Europe, soit de l'Asie occidentale, ainsi que des monuments en terre ou sortes de retranchements que l'on trouve dans la grande vallée du Mississipi et surtout dans celle de l'Ohio. Ils y présentent les formes les plus bizarres, et le souvenir des peuples qui les ont élevés n'a laissé aucune trace chez les Indiens actuels, tant l'époque de leur construction est reculée. Enfin, d'autres preuves de la permanence du sol peuvent encore se déduire de la longévité de certains végétaux qui, tels que les Baobabs du Sénégal et les Cyprès d'Oaxaca, comptent peut-être 60 siècles d'existence.

Les déserts de sable, continue M. de Beaumont, ne sont qu'une forme particulière de la terre végétale sur laquelle il ne vient rien, parce qu'étant très mobile elle est sans cesse remuée et déplacée par les vents. « C'est ainsi que les vents, dit M. de Humboldt (3),

(1) Voyez un ouvrage ou mémoire de M. Ribbentrop.
(2) *Leçons de géologie pratique*, vol. I, p. 140.
(3) *Asie centrale*, vol. II, p. 254. — Voyez, pour les déserts du nord de l'Afrique : *Expédition de Laghouat, dirigée en mai et juin* 1844, par M. le général Marey, in-4, avec carte. Alger, 1845.

Digitized by Google

» accumulent, entre le Sir et l'Amou, des masses de sable mouvant » à une hauteur prodigieuse et engloutissent des villages entiers. » De semblables accidents ont aussi lieu dans la petite Boukharie. » Nous savons, par les auteurs chinois, que jusque vers le VII[e] siè» cle il y avait une grande route de commerce qui se dirigeait de » la limite occidentale de la province de Chensi sur Khoten, » passant au nord de la chaîne du Kouen-lun et parallèlement avec » elle. Cette route, et les villages que le commerce avait fait naître » dans le voisinage, ont été engloutis dans les sables. »

La terre végétale, par suite des progrès de l'agriculture, a été, dans ces derniers temps, l'objet d'une étude très suivie, et de nombreux et importants travaux ont été publiés, dans les divers pays de l'Europe, et surtout aux États-Unis, sur sa composition dans chaque localité, sur ses propriétés, sur les moyens de l'améliorer, de multiplier ses produits par des amendements bien choisis, etc.; mais ces recherches, si intéressantes par leurs résultats pratiques et leurs applications, sont exclusivement du domaine de l'agriculture, science en vue de laquelle elles ont été entreprises. Nous mentionnerons plus tard, dans un article bibliographique, les publications de ce genre, nous bornant à signaler ici les observations de M. Darwin sur la formation de la terre végétale et la singulière théorie à laquelle il a été conduit (1).

Ayant remarqué, dans des trous pratiqués dans le sol d'une prairie sur laquelle on avait jeté des cendres ou de la chaux, un certain nombre d'années auparavant, que ces substances y formaient des lits, à deux ou trois pouces au-dessous de la surface, M. Darwin a voulu s'assurer du mode de formation de la terre végétale, laquelle est souvent la même sur des roches ou des *sous-sols* très différents. L'examen attentif et comparatif d'un grand nombre de faits l'a conduit à admettre que cette terre végétale n'était que le résultat des déjections des vers de terre, étendues sur le sol par la pluie ou les dégels de l'hiver. Un laps de dix années aurait produit ainsi une épaisseur de 3 pouces ($0^m,08$) de terre au-dessus d'un lit de cendre qui avait été répandu comme amendement sur les prairies. C'est par cette action des vers, dit l'auteur, que se mêlent si intimement et prennent en définitive un aspect si

(1) *On the formation of mould*, etc. Sur la formation de la terre végétale (*Transac. geol. Soc. of London*, vol. V, p. 505. 1837).

Digitized by Google

homogène et si particulier les amendements, les engrais, les détritus du sol sous-jacent et ceux des végétaux.

Nous craignons que le savant voyageur anglais, dont le nom reviendra souvent par la suite, ne se soit trop préoccupé de l'importance d'une influence organique qui ne pourrait avoir d'effet que dans les prairies basses et humides. Les terres labourées, les bois, les prairies élevées, n'apportent aucune preuve à l'appui de cette manière de voir. La formation de la terre végétale résulte du concours simultané d'actions mécaniques et chimiques souvent favorisées par l'industrie humaine.

§ 5. Éboulements, glissements et débâcles.

Suisse. Des accidents de ce genre et qui remontent à des époques plus ou moins anciennes ont été décrits dans divers ouvrages que nous mentionnerons ci-après. Quant à ceux qui ont eu lieu récemment, nous citerons d'abord l'éboulement d'une portion de la Dent-du-Midi, située sur la rive gauche du Rhône, près de St-Maurice, en Valais, à quatre lieues et demie du lac de Genève. Nous laisserons parler M. Lardy, qui en a donné une bonne relation (1).

« Depuis le village de Bex, la Dent-du-Midi, qui atteint près de » 3,000 mètres de hauteur absolue, se présente comme une immense pyramide, dont la forme était assez régulière avant l'éboulement dont nous allons rendre compte, et qui en a dérangé la symétrie en ouvrant une profonde brèche sur l'arête orientale » de cette pyramide.

» Le mardi 25 août 1835 un violent orage eut lieu dans la » soirée, tout autour de la Dent-du-Midi; on prétend même que » la foudre tomba à plusieurs reprises sur la cime, ce qui, au » surplus, doit arriver fréquemment. Quoi qu'il en soit, le lende» main 26, entre 10 et 11 heures du matin, une portion assez » considérable de cette cime se détacha tout à coup sur l'arête » orientale, et se précipita avec un bruit épouvantable sur le gla» cier situé sur le revers méridional de la Dent, dont elle entraina » dans sa chute un immense quartier.

» Cette masse énorme de pierre et de glace vint s'abîmer dans » un ravin profond qui sépare la Dent-du-Midi du col de Salenfe,

(1) *Bull.*, vol. VII, p. 27, 1835.

Digitized by Google

» et dans lequel coule le torrent de Saint-Barthélemy. Bientôt on » vit déboucher, de la gorge qui donne issue à ce torrent dans la » vallée du Rhône, comme une montagne d'une boue noire et vis- » queuse, à la surface de laquelle flottaient des quartiers de roc de » toutes les dimensions (il y en avait de 4 mètres de hauteur). Cette » masse liquide, semblable à une coulée de lave, se dirigea vers le » Rhône, au travers de la forêt de pins qui couvre cette partie de » la vallée, entraînant avec elle tout ce qui se trouvait sur son pas- » sage. Des arbres de grande taille furent renversés et froissés » comme des roseaux. Arrivée sur la berge du fleuve, elle s'y pré- » cipita en formant une nappe de boue effrayante à voir. Les blocs » qui se trouvaient dans cette boue furent également entraînés » dans le Rhône, dont les eaux furent rejetées contre la rive op- » posée, et refoulées en amont à une assez grande distance. La » grande route, recouverte par cette boue et ces pierres, devint » impraticable, et il fallut construire, au moyen de fascines, un » nouveau chemin sur ce sol élastique. Pendant plusieurs jours » les communications entre le Haut et le Bas-Valais n'ont pu avoir » lieu qu'au moyen d'un pont très peu solide que l'on avait jeté sur » le torrent, à l'entrée de la gorge. Il est impossible de se repré- » senter quelque chose de plus affreux que ce sillon de 20 à 30 mè- » tres de profondeur sur une largeur de 70 à 100 mètres, et qui » va en s'élargissant jusqu'au Rhône, creusé dans cette boue ac- » tuellement figée, et dont la surface est parsemée de blocs et de » troncs d'arbres. Une petite portion seulement du rocher s'est » écroulée sur le revers septentrional de la Dent-du-Midi, et, des- » cendant par un couloir, est venue recouvrir une partie du gla- » cier qui se trouve de ce côté-là. »

M. Élie de Beaumont (1), qui avait été aussi témoin d'une partie du phénomène, a fait remarquer avec quelle facilité ces torrents de boue, qui ne renfermaient peut-être pas $\frac{1}{10}$ d'eau, déplaçaient des blocs calcaires de plusieurs mètres de côté et les portaient même sur leur surface pendant des espaces considérables, presque aussi facilement qu'une rivière porte des glaçons, circonstance qui lui semble aider à concevoir le mode suivant lequel a pu s'opérer le transport des blocs diluviens.

Dans ses *Études géologiques sur les Alpes* (2), M. Necker a

(1) *Bull.*, vol. VII, p. 29. 1835.
(2) vol. I. Paris, 1841.

Digitized by Google

rappelé les éboulements plus ou moins considérables et les débâcles qui ont eu lieu récemment en Europe, tels que la chute du Rossberg qui, en 1806, a enseveli la vallée de Goldau; l'avancement du glacier des Bois et de sa moraine, en 1816; la débâcle de la vallée de Bagnes, en 1818; celle de la vallée de Viège; la disparition du lac de Chède, en 1837; et, la même année, l'écroulement d'une partie du sommet du Bréven.

Sicile. M. A. Paillette (1) a décrit, au centre des monts Pélores, des exemples d'attérissements modernes très considérables, produits par la décomposition des roches schisteuses anciennes. Les calcaires et les poudingues qui les recouvrent se brisent par suite du manque d'appui, et leurs blocs ou fragments, d'un très gros volume, glissent le long du talus d'éboulement jusqu'à une assez grande distance. Sur d'autres points (Nicotia, Sperlinga, Caltanissetta), d'autres phénomènes analogues ont encore lieu : ce sont les *valanches* qui se creusent chaque année dans les argiles, au-dessous du terrain tertiaire supérieur, de manière à entraîner dans leur chute les champs cultivés et les habitations.

Inde. M. Falconner (2) a décrit les circonstances qui ont accompagné une débâcle de l'Indus.

Amérique du Nord. M. Logan (3) a fait connaître celles qu'il a observées lors de la débâcle des glaces du fleuve St-Laurent. Dans le Massachussetts (4), d'après M. Hitchcock, des talus d'éboulements très considérables se forment au pied des montagnes abruptes, par la destruction des diorites qui bordent la vallée du Connecticut. Les actions combinées de l'eau, de la gelée, de la pesanteur et de la pluie produisent aussi d'immenses affaissements sur des hauteurs de plus de 500 mètres au-dessus du fond de la vallée, entraînant les bois et les habitations qui se trouvent à la surface du sol ainsi déplacé. Dans le comté de Portland (État du Maine), les éboulements sont fréquents sur les bords de la rivière Présumpsent.

Amérique du Sud. M. J. Acosta (5) a donné la relation d'un torrent boueux descendu du volcan de Ruiez, dans la Nouvelle-Grenade. Le 19 fé-

(1) *Bull.*, vol. XIII, p. 234. 1842.
(2) *Journ. asiat. Soc. of Bengal*, vol. X, p. 615. 1841.
(3) *Proceed. geol. Soc. of London*, vol. III, p. 766.
(4) *Boston Journ. natur. history*, vol. I, p. 67 et 339. 1837
(5) *Comp. rend.*, vol. XXII, p. 709. 1846. — *Quart. Journ. geol. Soc. of London*, vol. I, p. 410-422. 1846.

Digitized by Google

vrier 1845, à la suite d'un grand bruit souterrain et d'une secousse de tremblement de terre, une portion glacée du pic de Ruiez s'écroula avec toute la neige qui le couvrait, et en dégelant entraîna une immense quantité de granite décomposé qui surmontait les sources de la Lagunilla. Il s'écoula alors un immense flot de boue épaisse qui, remplissant rapidement le lit de cette rivière, couvrit ou entraîna les arbres et les maisons avec leurs habitants. On évalue à 1,000 le nombre des personnes qui ont péri dans cette catastrophe. Le torrent s'étendit dans la plaine en se dirigeant vers la rivière de la Magdalena. Il transportait au milieu du sable, de la boue et des roches, d'énormes blocs de glace descendus d'une hauteur d'au moins 4,800 mètres, limite inférieure des neiges perpétuelles dans le pays. Enfin le torrent boueux couvrit une surface de plus de 4 lieues carrées sur une épaisseur de 5 à 6 mètres, représentant un volume de plus de 300 millions de tonnes de matières éboulées.

Inclinaison des talus d'éboulement.

Nous placerons ici, comme se rapportant plus particulièrement à cette section, les observations fort intéressantes de M. Leblanc *sur le maximum d'inclinaison des talus dans les montagnes* (1).

Dans la chaîne des Vosges et dans celle du Jura, l'auteur n'a point trouvé de talus qui dépassassent 70 de hauteur pour 100 de base, ou 35°; encore ces talus sont-ils pour la plupart des talus d'éboulement, et il remarque que cette inclinaison maximum est presque rigoureusement celle de la diagonale d'un cube. Ce qui n'est pas moins digne d'attention, c'est que la densité des corps est sans effet sur l'inclinaison des talus; ainsi, la cendrée de plomb et la graine de millet prennent des pentes presque égales de 22° à 23°. Les avalanches de neige et les éboulements d'une foule de rochers se font sous un angle de 35°. La rapidité d'un talus dépend du poli des surfaces; aussi les corps à surface rude, tels que les débris de grès et surtout de trachytes, atteignent-ils une pente de 37 à 39 degrés. Quant aux talus de 42° à 45° que prennent quelquefois les terres, ce sont des talus d'équilibre instable qu'on ne trouve jamais dans les montagnes.

M. Leblanc a fait suivre ses remarques, dont l'application peut être souvent utile, d'un tableau renfermant 126 exemples de

---

(1) *Bull.*, vol. XIV, p. 85. 1843.

Digitized by Google

talus pris dans divers lieux, dans des circonstances diverses, et formés de substances meubles très différentes aussi. M. Élie de Beaumont a également placé à la fin de ses *Recherches sur l'origine et la structure du mont Etna* (1) 6 tableaux dans lesquels il a rassemblé de nombreuses mesures de pentes, soit naturelles, soit artificielles, et dont l'étude est aussi précieuse pour se rendre compte de la formation d'une multitude de dépôts, que pour rectifier les erreurs que l'on commet si facilement dans l'appréciation de l'inclinaison de ces mêmes talus.

Appendice bibliographique.

Belgique. H. Galeotti. — *Mémoire sur la constitution géognostique du Brabant méridional* (*Mém. couronnés par l'Académie de Bruxelles*, vol. XII. 1837).

France. Noeggerath. — *Les fendillements des terrains dans les temps modernes, comparés avec les phénomènes géologiques anciens* (*Arch. f. miner. de Karsten*, vol. XV, p. 210-215, pl. 8. 1840).

L'auteur décrit le fendillement et le glissement qui ont eu lieu en 1840, au Val-Fleury, près Meudon.

D'Archiac. — *Descrip. géol. du départ. de l'Aisne* (*Mém. de la Soc. géol. de France*, vol. V, p. 179. 1843).

H. Hogard. — *Descript. minér. et géol. du système des Vosges*, p. 172. Épinal, 1837.

S. Gras. — *Statist. minér. du départ. de la Drôme*, p. 204. Grenoble, 1835.

Suisse. Engelhard. — *Note sur les collines de la rive gauche du Rhône, dans le Valais* (*Soc. d'hist. nat. de Strasbourg*, 15 mars 1836. — *L'Institut*, 10 août 1836).

— *Éboulis, fendillement et glissement de la montagne au-dessus de Felsberg, dans les Grisons, au mois de février 1834* (*Neu. Jahrb.*, 1834, p. 591 ; 1836, p. 390). Les éboulements ayant continué, on a dû faire changer le village de place.

Allemagne. De Hoff. — *Sur un éboulement de terrain en entonnoir dans le muschelkalk recouvrant du gypse, entre Gotha et Eisenach* (*Neu. Jahrb.*, 1834, p. 327-329).

Geinitz. — *Fendillement et glissement de terrain près de Fetschen* (*Neu. Jahrb.*, 1838, p. 520-525).

J. Loessel. — *Sur des fendillements, des glissements et des af-*

(1) *Mém. pour servir à une descrip. géol. de la France*, vol. IV, p. 204. 1838.

Digitized by Google

faissements du sol de Bohmischribna, *en Bohême*, *les* 28 *et* 29 *janv.* 1834 (*Neu. Jahrb.*, 1835, p. 57).

COTTA. — *Sur un éboulis ou glissement de terrain à Neu-Bohmen en* 1838 (*Neu. Jahrb.*, 1838, p. 411-412).

VOSKOBOINIKOV. — *Sur l'éboulement à la cime de l'Ararat et l'éruption boueuse du* 2 *juillet* 1840 (*Ann. de Berghaus*, 3^e sér., vol. II, p. 373-380. 1841). Asie.

MAURICE WAGNER. — *Sur le même sujet* (*Allgem Zeit. d'Auguste*, 31 juillet 1841).

Digitized by Google

CHAPITRE II.

PRODUITS AQUEUX ET SOLIDES.

§ 1. De la glace.

L'eau est la seule substance que nous trouvions à la fois très répandue dans la nature à l'état de vapeur, à l'état liquide et à l'état solide. Cette circonstance tient, d'une part, à ce qu'elle donne des vapeurs même à des températures très basses; et de l'autre, à ce que son point de solidification est si peu élevé, que les simples variations de la température de l'air suffisent pour porter celle-ci tantôt au-dessus tantôt au-dessous de ce point. Les phénomènes que produit l'eau à ces divers états sont tellement différents, que nous sommes obligé de traiter de leurs effets dans des chapitres distincts et même assez éloignés les uns des autres. Ainsi l'eau, disséminée dans l'air, soit à l'état de vapeur, soit sous forme vésiculaire et en proportions incessamment variables, rentre plus particulièrement dans le domaine de la météorologie; à l'état liquide, au contraire, remplissant les bassins des mers et des lacs, alimentant les cours d'eau superficiels et les nappes souterraines, elle doit être pour nous l'objet d'une attention toute spéciale, car son étude se rattache à la formation des dépôts sédimentaires marins, lacustres ou fluviatiles de la surface du sol, comme à l'origine des eaux minérales et thermales qui s'élèvent de dessous cette surface; enfin, à l'état friable, nous l'avons déjà étudiée comme phénomène météorologique constituant les neiges perpétuelles. Mais sous forme de glace, soit que nous la trouvions accumulée sur les hautes montagnes ou suspendue à leurs flancs en nappes brillantes et compactes, soit que, portant plus loin nos regards, nous la voyions recouvrir comme d'un immense linceul les deux pôles de la terre, là où toute trace de la vie a cessé, l'eau donne lieu à des résultats, non seulement très distincts de ceux qu'elle produits à l'état liquide ou à l'état de vapeur, mais encore très différents de tout ce que nous présentent les autres substances solides.

Digitized by Google

Cristallisation de la glace.

M. D. Brewster (1) qui avait déjà démontré que la glace était douée de la double réfraction à un seul axe, d'où il avait conclu que sa forme primitive devait être un rhomboèdre ou un prisme droit à base carrée, recueillit le 2 février 1834, dans un bassin placé à l'abri de l'agitation de l'air, des cristaux de la forme primitive rhomboédrique. Ils étaient de la forme de la chaux carbonatée en rhomboèdre basé, mais les angles n'ont pu en être déterminés. M. Soret (2) a trouvé au contraire que la forme primitive de l'eau à l'état de glace était un prisme droit à base de triangle équilatéral.

Diverses observations, et en particulier celles de M. Héricart de Thury (3), avaient porté à penser que l'eau cristallisait en prisme hexagonal comme forme primitive; mais d'après les remarques faites par M. Clarke (4) à Cambridge en 1821, on a admis que la forme primitive était un rhomboèdre avec des angles de 120° et de 60°. Les prismes hexaèdres ne seraient probablement alors que des formes secondaires (5). M. D. Leclercq (6) a reconnu des prismes triangulaires réguliers, des prismes droits à base rhomboïdale et des prismes hexagonaux réguliers.

M. Lesson (7), après avoir signalé dans la neige des formes cristallines différentes de celles qu'avait observées W. Scoresby, a fait connaître la disposition particulière de cristaux allongés qui s'étaient formés dans une carafe glacée; mais il ne s'est point prononcé sur l'origine des cristaux rhomboédriques, octaédriques et en prismes hexaèdres qu'il mentionne dans cette même circonstance. La cristallisation de l'eau dans des appareils fermés a donné en outre des résultats curieux qu'ont décrits MM. Danger et Viquesnel (8). Enfin, M. Ch. Martins a observé au Spitzberg (9) des portions de la surface du sol, parfaitement planes et de plusieurs mètres carrés,

(1) *Cristallisation de la glace* (*London and Edinb. philos. Mag.*, p. 245. 1834. — *Ann. des mines*, 3ᵉ sér., vol. VI, p. 233).
(2) *Actes de la Soc. helvétique des sc. natur.*, 1837.
(3) *Journ. des mines*, n° 194, p. 157.
(4) *Transac. philos. Soc. of Cambridge.*
(5) Voyez aussi : Schumacher, *Observations sur la cristallisation de la glace*, in-8, 5 pl. Leipsick, 1842?—Schmidt, *État cristallin et propriétés optiques de la glace* (*L'Institut*, n° 467).
(6) *Mém. couronnés par l'Acad. de Bruxelles*, vol. XVIII, 1845.
(7) *L'Écho*, 14 juillet 1842.
(8) *Bull.*, 2ᵉ sér., vol. II, p. 317. 1845.
(9) *Bibl. univ. de Genève*, juillet 1840.

Digitized by Google

entièrement pavées de prismes de glace placés verticalement les uns à côté des autres. Leur hauteur variait de 0,14 à 0,30, leur diamètre de 0,01 à 0,03. Presque tous se rapprochaient d'un prisme à base carrée ou hexagonale, dont les faces et les arêtes étaient d'ailleurs peu nettes. Ces prismes ne reposaient point sur la terre, mais se trouvaient implantés dans une couche de glace peu épaisse. A Bell-Sound, M. A. Bravais a remarqué deux étages de cristaux semblables, superposés et séparés par un plan de glace.

On admettait généralement, depuis les expériences de Placidus Heinrich en 1807 (1), que la glace, pour un abaissement de température de 10° R., se contractait de $\frac{1}{34}$ de ligne, donnant pour coefficient de dilatation 0,000024 par degré centigrade. En 1843, M. Petzholdt (2) trouva que la glace se dilatait au contraire par le froid, ce qui fut pour lui la base d'une nouvelle théorie des glaciers. Mais M. Brunner fils (3), ayant obtenu pour coefficient de la contraction linéaire de cette même substance $\frac{1}{26700}$ par degré centigrade, en a déduit que la contraction de la glace, par l'abaissement de température, est plus grande que celle de tous les autres corps solides qui ont été étudiés sous ce rapport, et qu'à cet égard, la glace se rapproche des corps liquides. Un tableau de la densité de la glace à différentes températures fait voir qu'à 0° cette densité est 0,91800, et à —20° de 0,92025. Ces résultats, comparés à ceux qu'a obtenus M. Despretz sur la dilatation de l'eau à l'état liquide et observée jusqu'à —20°, conduisent à cette conclusion paradoxale, que l'eau, à l'état liquide, se dilate par l'abaissement de la température, tandis qu'à l'état solide elle se contracte par un changement de température dans le même sens. Densité de la glace.

La formation de la glace au fond des eaux a été, de la part de M. Arago, le sujet d'un article fort intéressant, inséré dans l'*Annuaire du Bureau des longitudes* (4) : le savant astronome, après avoir démontré l'impossibilité de la congélation de l'eau sur le fond des lacs, des étangs et en général des eaux tranquilles et stagnantes, rapporte les nombreuses observations qui tendent à établir qu'il Formation de la glace de fond.

(1) *Gilbert's Annalen*, vol. XXVI, p. 228.
(2) *Beitrage zur Geognosie von Tyrol*, 1843.
(3) *Expériences sur la densité de la glace à différentes températures* (*Bibl. univ. de Genève*, vol. LVI, p. 145. 1845. — *Ann. de chim. et de phys.*, vol. LXX, p. 34).
(4) Pour 1833, p. 244. Paris, 1832.

Digitized by Google

n'en est pas de même dans les eaux courantes. Dans ce dernier cas, en effet, le mouvement qui tend à mêler continuellement les couches liquides, de température et de densité différentes, détermine en même temps une température uniforme dans toute l'épaisseur de l'eau, lorsqu'elle est amenée à zéro et doit déposer d'abord des glaçons sur les corps placés au fond, tels que les pierres, les cailloux, les morceaux de bois, etc., qui jouent alors le rôle d'un corps pointu ou à surface inégale plongé dans une dissolution saline, pour faciliter autour la formation des cristaux. Mais comme le mouvement contrarie, d'un autre côté, la formation d'une glace régulière et compacte, les filaments ou aiguilles se groupent confusément et il en résulte, sur le fond, une glace spongieuse, ainsi que Desmarest et M. Hugi l'ont observé.

M. Leclercq a présenté sur cette question une note à l'Académie de Bruxelles, et il résulte du rapport fait par M. Crahay (1) des conclusions semblables à celles que M. Arago avait déduites douze ans auparavant; aussi regrettons-nous que le rapporteur, qui cite avec soin l'article *Eis* du *Dictionnaire de physique* de Gehler et les observations de Desmarest et Brauns, ne fasse aucune mention de la notice beaucoup plus complète de l'illustre astronome français, qui le premier, à ce qu'il nous semble, a donné l'explication rationnelle du phénomène. Cependant M. Leclercq a été plus loin que Desmarest relativement à l'influence de la présence et de l'absence des rayons solaires ou du jeu d'ombre et de lumière par rapport à la congélation de l'eau sur le fond; mais à cet égard plusieurs circonstances resteraient encore à constater.

Dans le mémoire qui a été publié depuis (2), et qui renferme beaucoup d'observations faites avec soin, l'auteur remarque (p. 14) que chaque caillou commence toujours à se charger de glace par la face opposée au courant, et que, comme ces cailloux sont ordinairement juxtaposés, les couches finissent par se souder les unes aux autres et par former une nappe plus ou moins étendue. Celle-ci continue à se charger de même sans cesser pour cela d'être raboteuse et mamelonnée, sa teinte passant du gris au gris-blanc, puis au blanc pur. La vitesse de l'eau hâte sa congélation, mais elle ne concourt pas à augmenter ensuite son épaisseur, qui s'accroît alors

(1) *Bull. de l'Acad. de Bruxelles*, vol. XII, p. 9. 1845. — *L'Institut*, p. 169. 1845.

(2) *Mém. couronnés par l'Acad. de Bruxelles*, vol. XIII, 1845.

Digitized by Google

d'autant plus que le mouvement est moindre, que le froid est plus intense à l'extérieur, et que le ciel est plus pur (1).

§ 2. **Des glaciers.**

Les glaciers sont, comme les neiges perpétuelles, le résultat de la température que déterminent l'altitude d'un lieu, sa latitude et diverses circonstances accessoires et locales. Il semble donc au premier abord qu'il eût été plus convenable de décrire en même temps les glaciers et les neiges perpétuelles, ou de les réunir au moins dans un même chapitre; mais à part cette communauté d'origine, il y a une si grande différence dans les effets qu'ils produisent, que les neiges peuvent sans inconvénient être rapportées à la Météorologie, ainsi que nous l'avons fait, tandis que les glaciers doivent être regardés comme des roches de l'époque actuelle, soumises à des lois qui leur sont propres et résultant de leur nature et de leur constitution même, et enfin comme donnant lieu à des produits dont les caractères leur sont également particuliers.

L'étude des glaciers, à laquelle on s'est livré avec tant d'ardeur dans ces derniers temps, a cela de particulier qu'elle n'avait pas d'abord pour but la connaissance des glaciers eux-mêmes. Le grand mouvement imprimé à ces recherches, les notions précises que nous possédons sur la formation de ces masses de glace, sur leur mode d'accroissement, leurs mouvements, leur constitution et leurs divers effets, sont dûs à la nécessité de soutenir une hypothèse, aussi hardie que brillante, par une grande quantité de faits observés avec soin. Il est probable que, sans ce puissant mobile, la théorie des glaciers actuels serait encore restée longtemps au point où l'avait amenée de Saussure vers la fin du XVIIIe siècle. Quoi qu'il en soit, nous essayerons d'énumérer sans trop de confusion les nombreux documents rassemblés sur ce sujet en les classant dans l'ordre suivant :

1° *De la formation des glaciers et de leur accroissement ;*

2° *De la structure des glaciers et des bandes colorées ;*

3° *Du mouvement des glaciers et de ses effets ;*

4° *De l'extension et du retrait des glaciers, de leur température et de leur abaissement superficiel ;*

5° *Des moraines, des tables, des alluvions glaciaires, des sur-*

---

(1) Voyez aussi G. Leube, *Ueber die Bildung*, etc. Sur la formation de la glace de fond (*Wurtemb. naturwissenschaft. Jahr.*, 2e année, p. 165. 1846.

Digitized by Google

faces polies, striées et moutonnées, des sillons, des entonnoirs et des neiges rouges ;

6° *Glaciers des terres Arctiques ;*

7° *Glaciers des terres Antarctiques.*

Ces divers titres, à l'exception des deux derniers, se rapportent à des exemples pris dans les Alpes. Les difficultés que présente cette étude et le temps qu'elle exige font que l'examen des grands glaciers des autres parties du globe a très peu avancé jusqu'à présent cette partie de la science.

De la formation des glaciers et de leur accroissement.

Les neiges perpétuelles, dit M. de Charpentier (1), persistent sous deux formes, les *névés* et les *glaciers*. Les névés sont des neiges perpétuelles sans adhérence et dont les grains ne sont pas cimentés par de l'eau congelée ; leur surface n'offre point de glace solide ; ils ne déposent jamais de moraines, et la forme grenue de la neige résulte de l'extrême sécheresse de l'air, qui, dans les hautes régions, empêche la vapeur d'eau de se transformer en flocons.

On nomme *firn* ou *haut névé* les neiges des Alpes qui sont à environ 2,500 mètres d'altitude. Les dégels et les pluies sont rares à cette hauteur, et les neiges tombées dans une année ne disparaissent pas entièrement l'année suivante, tandis que celles qui tombent sur les glaciers proprement dits fondent complétement presque tous les étés. La fonte incomplète des hauts névés produit dans leur masse une sorte de stratification qui disparaît à mesure qu'ils se changent en glaciers.

Les *bas névés* sont des neiges permanentes qui se trouvent à une hauteur où il dégèle et pleut fréquemment, mais qui n'ont pas assez d'épaisseur pour retenir les eaux qui les pénètrent. L'absence de glace solide dans l'intérieur des bas névés empêche qu'ils n'aient un mouvement propre.

Lorsque les hauts névés sont fort épais, et qu'ils atteignent les régions où le dégel se fait sentir et où il pleut fréquemment, ils se changent peu à peu en glaciers. Ainsi les glaciers ne sont que le résultat de la congélation de l'eau absorbée par les interstices qui séparent les grains de glace dont les névés sont formés.

M. de Charpentier fait voir ensuite que l'eau est irrégulièrement absorbée sur les divers points d'un glacier ; puis il traite de la con-

(1) *Essai sur les glaciers et sur le terrain erratique du bassin du Rhône*, in-8, avec carte. Lausanne, 1841.

Digitized by Google

gélation de l'eau à sa surface et dans les crevasses pendant les nuits d'été, congélation dont les effets, variant dans les diverses parties de la masse en raison de l'inégale répartition de l'eau, y produisent une grande tension, en même temps que l'inégalité de celle-ci occasionne des fissures capillaires qui s'étendent en tous sens.

La glace des glaciers, au lieu d'être amorphe ou compacte, comme la glace ordinaire, offre une structure grenue à grains plus ou moins gros. Elle renferme des bulles d'air et ne diffère point sensiblement dans toute l'épaisseur du glacier. Par suite de la congélation dans les nuits d'été de l'eau absorbée pendant le jour (p. 14), le glacier augmente de volume, et il se forme de nouvelles fissures et de nouvelles bulles d'air qui retiennent à leur tour les eaux qui leur arrivent le lendemain par le retour de la chaleur. Cette alternative de gelée et de dégel se manifeste surtout à l'époque de l'année où les jours les plus chauds sont suivis de nuits fraîches; aussi est-ce pendant ces nuits que l'on entend le plus fréquemment le craquement produit par la rupture de la glace (1).

Les glaciers se conservent, soit par les neiges qui s'y accumulent pendant l'hiver, soit par les hauts névés qui descendent à mesure que les glaciers s'avancent et qui se convertissent eux-mêmes en glace. Quant à la conservation des glaciers dans certaines limites, elle ne résulterait pas de ce qu'ils fondent à leur surface inférieure de la même quantité qu'ils se sont accrus par les neiges tombées à la surface extérieure, mais bien, comme le prouve la pureté de la glace dans toute l'épaisseur du glacier, de la congélation de l'eau provenant de la fonte des neiges, et qui est absorbée soit par les fissures, soit par les bulles d'air qui existent dans la glace. Ainsi, dit l'auteur (p. 19), le névé ou la neige ne sont indispensables que pour la formation d'un glacier, mais pour sa conservation il n'a besoin que d'eau provenant soit de pluies fréquentes,

(1) A cette objection, que la congélation nocturne de l'eau des fissures ne pouvait avoir lieu à l'intérieur des glaciers dans l'intervalle du coucher du soleil à son lever, M. de Charpentier a répondu (p. 104) que la porosité de la masse du glacier, par suite de son fendillement en tous sens, et la température maximum du glacier, qui ne peut jamais être au-dessus de zéro, de même que celle de l'eau qui coule dans l'intérieur, et qui est très voisine du point de congélation, sont des circonstances qui permettent de concevoir que le refroidissement nocturne suffit pour agir sur tous les points de l'intérieur du glacier.

soit de fontes de neige. M. de Charpentier n'admet pas l'opinion de M. Agassiz (1), que la glace des glaciers est stratifiée, et il pense qu'elle ne présente cette disposition que dans les hauts névés et non dans les glaciers proprement dits. Le changement de volume des glaciers n'a point lieu à des époques fixes. Ils augmentent lorsque la neige a été abondante pendant un hiver auquel succède un été pluvieux (p. 25); l'inverse a lieu dans les étés secs et chauds précédés d'hivers où la neige n'est tombée qu'en petite quantité.

M. Élie de Beaumont a communiqué d'abord à la Société philomatique (2), puis à la réunion des savants italiens à Padoue (3), deux *remarques sur la théorie des glaciers*, que nous placerons ici quoiqu'elles se rapportent aussi bien au mouvement des glaciers, dont nous parlerons plus loin.

La *première* est relative à l'action de la chaleur centrale. L'auteur admet que le flux de chaleur qui s'écoule à travers l'écorce solide de la terre, pour le sol de l'Observatoire de Paris, par exemple, pourrait fondre annuellement une couche de glace de 0,0065, soit 6 millimètres et demi (4), produisant 6 millimètres d'eau. Arrivé au fond du glacier, ce flux de chaleur peut se diviser en deux parties, l'une fondant la glace, l'autre traversant le glacier pour se dissiper à sa surface, par voie de rayonnement, par le contact de l'air, etc. (5). Ainsi la quantité maximum d'eau résultant de l'action de la chaleur centrale sur les glaces et les neiges de la surface de la terre est représentée par une couche d'eau de 6 millimètres d'épaisseur et ayant la même étendue que ces glaces et ces neiges. Le maximum pour un mois serait 1/2 millimètre d'eau, c'est-à-dire une quantité égale à celle que produit une très petite averse de pluie.

La quantité d'eau résultant de la fusion opérée par le soleil et par les actions atmosphériques est incomparablement plus grande. Celle qui tombe annuellement sur les parties élevées des Alpes,

---

(1) *Études sur les glaciers*, p. 40, in-8, avec atlas. Neuchâtel, 1840.

(2) *Soc. philomatique de Paris*, 30 juillet 1842. — *L'Institut*, 19 août 1842 — *Ann. des sc. géol.*, vol. I, p. 553.

(3) Réunion des savants italiens à Padoue en 1842, séance du 24 septembre.

(4) Poisson, *Mémoires et notes formant un supplément à la théorie mathématique de la chaleur*, 1837.

(5) *Soc. philom.*, 4 juin 1836. — *L'Institut*, vol. IV, p. 192. 15 juin 1836.

Digitized by Google

sous forme de pluie, de grêle ou de neige, est, d'après M. Berghaus, de 35 pouces ou 947 millimètres. Mais par suite de la disposition particulière de certaines parties du sol, M. Élie de Beaumont élève à 1200 millimètres la quantité d'eau qui provient annuellement de l'ensemble des surfaces couvertes de neige.

Presque toute cette quantité s'écoulant dans les six mois où la fusion superficielle est sensible, il s'ensuit que, dans les Alpes, les neiges et les glaces produisent 200 millimètres d'eau par mois, ou 400 fois ce que le maximum du flux intérieur peut fondre dans le même temps; d'où il résulte encore qu'il ne sort en hiver de dessous les glaciers que des filets d'eau tout à fait insignifiants relativement aux torrents qui en découlent pendant l'été. On conçoit, d'après cela, que, quelque faible que soit la quantité du flux de chaleur intérieure, si elle venait à varier, et elle a dû diminuer en effet dans les temps géologiques, comme elle doit diminuer encore dans l'avenir, elle devra influer sur l'étendue des glaciers dont elle sera en quelque sorte un des régulateurs; or, s'il y a eu une cause qui ait pu permettre aux glaciers d'acquérir, à une certaine époque, une plus grande extension que celle qu'ils ont aujourd'hui, c'est dans la différence des climats qu'il faut la chercher.

La *seconde remarque* de M. Élie de Beaumont est relative à l'influence du froid extérieur sur la formation des glaciers. Ce savant ne pense pas que le froid nocturne puisse congeler l'eau, dans l'intérieur des glaciers, au-delà d'une profondeur comparable à celle, d'ailleurs très petite, à laquelle la variation diurne de la température pénètre dans le sol avec une certaine intensité; mais cette congélation, comme il le démontre, peut avoir lieu par suite de variations annuelles et produire une expansion qui contribue au mouvement du glacier, et c'est par cette raison qu'il n'existe point de glaciers, mais seulement des neiges perpétuelles sous l'équateur, où les variations diurnes seules se font sentir. En hiver le glacier se fendille par l'effet de la contraction due à la basse température de l'air, laquelle pénètre peu à peu dans son intérieur. Ces fentes, restées d'abord vides, se remplissent d'eau, lorsqu'au printemps la chaleur agit sur la neige qui recouvre le glacier, et cette eau s'y congèle à l'instant, en laissant dégager de la chaleur qui tend à ramener le glacier à zéro. Le phénomène se continue ainsi jusqu'à ce que la masse entière soit arrivée à la température de zéro. Cette augmentation du glacier par intussusception, tandis qu'il fond à la surface, est aussi cause que les pierres en-

veloppées originairement dans sa masse sont constamment ramenées à la partie supérieure où la fusion superficielle les dégage. En outre, les glaciers n'augmentent intérieurement et par conséquent ne se dilatent chaque année que pendant un temps très court, quelques jours ou quelques semaines. D'ailleurs M. Élie de Beaumont semble porté à attribuer la marche des glaciers plutôt à l'action de la pesanteur, facilitée par une multitude de crevasses, qu'à celle de l'expansion de leur masse.

M. de Charpentier (1) a objecté à la première remarque, que le sol, sous les glaciers, est gelé jusqu'à une grande profondeur, comme cela a lieu en Sibérie et à l'étang de Brevine dans le Jura; qu'en hiver il ne sort pas la plus petite quantité d'eau de dessous certains glaciers, et qu'il ne peut accorder au calorique central la plus faible action pour fondre la partie inférieure des glaciers en contact avec le sol. Si l'eau se congèle pendant la nuit dans les fissures capillaires, c'est que dans ce moment il n'y coule pas d'eau qui ait une température supérieure à zéro. M. de Charpentier avait d'ailleurs traité déjà ce point de vue de la question dans son *Essai sur les glaciers*, et fait voir que le minimum de diminution des eaux qui sortent de dessous les glaciers n'a pas lieu dans le mois le plus froid, mais seulement à la fin de l'hiver. Ces eaux proviennent de sources qui, débouchant sous les glaciers, arrivent à une température qui permet d'opérer une certaine fusion de la glace; mais leur cours diminue, dès que le froid arrête les pluies et la fonte des neiges, et jusqu'au moment où le dégel rétablit les infiltrations.

M. Pasini (2) a fait remarquer à ce sujet que, d'après M. de Charpentier, les glaciers se dilatent davantage dans les étés humides et pluvieux, leur dilatation dépendant plutôt de la quantité d'eau qui s'introduit dans leurs fissures que de la quantité de froid qui, d'après M. Élie de Beaumont, s'y serait accumulée pendant l'hiver. Mais, quoi qu'il en soit, l'eau qui pénètre dans les fissures des glaciers paraît devoir se trouver toujours dans des conditions de température qui permettent sa congélation.

M. Agassiz (3) a constaté aussi, comme il l'avait avancé *à priori*,

(1) Réunion des savants italiens à Padoue, séance du 24 septembre 1842.

(2) Réunion des savants italiens à Padoue, séance du 24 septembre 1842.

(3) *Récit d'une excursion faite aux glaciers en hiver*, avec M. Desor (*Bibl. univ. de Genève*, avril 1842).

Digitized by Google

que la surface inférieure des glaciers ne fondait point par l'action de la température propre de la terre; car, en hiver, les eaux qui s'écoulent de dessous, dans certains cas, sont claires et limpides, au lieu d'être troubles, boueuses et abondantes comme celles de l'été; ce sont uniquement des eaux de source, comme nous venons de voir que l'avait dit M. de Charpentier. Dans une autre circonstance, M. Agassiz ayant laissé un thermométrographe tout l'hiver dans un glacier, à une profondeur de 8 mètres, a reconnu que l'abaissement de la température n'avait été que de 0°,3 C. Enfin M. G. Bischof a fait voir (1) que la fonte du glacier, par la température propre du sol, ne pouvait avoir lieu que jusqu'à la hauteur où la température moyenne de ce dernier est au-dessus de zéro, c'est-à-dire, dans les Alpes, jusqu'à 6,165 pieds (2,002^{m},63). Tout ce qui est plus élevé, c'est-à-dire beaucoup de glaciers et tous les hauts névés, ne fond point par la base pendant l'été, mais par la surface supérieure et par les flancs.

Le changement de la neige en glace a été attribué par M. Godeffroy (2) à la pression que les neiges éprouvent à leur descente dans les coulées, par suite d'une fusion qu'opère dans la masse le calorique qu'y dégage la pression à l'instant où les cristaux sont écrasés. L'exemple cité par l'auteur à l'appui de son hypothèse, et l'absence de passage entre la neige et la glace, paraissent, indépendamment de plusieurs autres motifs, peu favorables à sa manière de voir.

M. Rendu (3) a nommé *glaciers réservoirs* ceux des régions supérieures, où la température se maintient ordinairement au-dessous de zéro, et *glaciers d'écoulement* ceux qui descendent dans la région végétale, où la fusion s'opère pendant une partie de l'année. Leur ligne de séparation se trouverait à 9,000 pieds (2,923^{m},55) d'altitude. La neige est la cause la plus efficace de l'accroissement des glaciers réservoirs, l'eau qui tombe dans la plaine tombant le plus ordinairement à l'état de neige sur les hautes sommités, ou plutôt dans les vallées élevées. Lorsqu'il pleut dans ces régions, l'eau s'y

---

(1) *Sur la température des glaciers du Grindelwald et sur celle des torrents qui en sortent* (*Warmelehre der Inneren unserer Erdkæspere*, p. 117).

(2) *Notice sur les glaciers, les moraines et les blocs erratiques des Alpes*, in-8. Paris, Genève, 1840.

(3) *Théorie des glaciers de la Savoie*, in-8. Chambéry, 1840. (Extrait du vol. X des *Mém. de la Soc. roy. acad. de la Savoie*.)

congèle, et les vapeurs répandues dans l'atmosphère se condensent. Les glaciers d'écoulement ou inférieurs tirent leur origine des glaciers supérieurs ou réservoirs, qui les alimentent, et il y a toujours continuité entre eux. La masse du glacier est en raison inverse de la pente sur laquelle il coule, et plus un glacier principal reçoit de glaciers particuliers, plus il avance dans le fond de la vallée.

M. Desor (1) a fait remarquer que les trois régions distinctes qui forment les glaciers, celle des glaces, celle des névés et celle des champs de neige, lesquelles se succèdent de bas en haut dans le même ordre, ne sont en général constantes que dans les vallées, et que les hautes sommités font souvent exception à la règle et présentent de la glace ; tels sont les sommets de la Jungfrau, du Mont-Blanc, du Mont-Rose et du Finsteraarhorn. M. Desor ne paraît pas admettre l'opinion de M. Rendu sur certaines particularités de la formation des glaciers, et il attribue les bandes de glace intercalées entre les couches de neige de quelques parties élevées des glaciers de Viesch et d'Aletsch à l'action que le soleil exerce, dans un temps donné, sur la surface des champs de neige.

M. Ch. Martins a décrit la formation de glaciers sans névé dans le groupe du Faulhorn (2). Ces glaciers sont entièrement composés de glace spongieuse à la surface, mais compacte à quelques centimètres de profondeur, et ils se trouvent en quelque sorte alimentés par les eaux provenant de la fonte des plaques de neige situées à un niveau plus élevé, et qui se congèlent lorsque la température s'abaisse au-dessous de zéro pendant le jour, et plus souvent pendant la nuit. Aussi M. Martins admet-il en principe, avec M. Élie de Beaumont, que les glaciers croissent par intussusception, et non par la simple addition de nouvelles couches de neige qui se transforment en glace lorsqu'elles sont pénétrées par les eaux provenant de la fusion des neiges environnantes. Peut-être l'expérience de M. Agassiz, que nous venons de citer, et qui prouve combien sont faibles les variations de température à l'intérieur des glaciers, pourrait-elle apporter quelques modifications à cette conclusion.

M. Necker (3), après avoir repoussé l'opinion de M. Godeffroy

---

(1) *Ascension de la Jungfrau*, *effectuée le* 28 *août* 1841 *avec M. Agassiz*, etc. (*Bibl. univ. de Genève*, nov. 1841).

(2) *Bull.*, vol. XIV, p. 133. 1842. — *Ann. des sc. géol.*, vol. I, p. 825.

(3) *Etudes géologiques dans les Alpes*, vol. I. 1841.

sur la cause de la conversion de la neige en glace, regarde, avec M. Rendu, l'accroissement ou la diminution des glaciers (p. 200) comme résultant plutôt de la quantité de neige tombée que de la température moyenne, particulièrement de l'été, et il explique la contradiction apparente des deux phénomènes par le déboisement des montagnes dans le siècle dernier. Cette circonstance, en permettant au sol des vallées et des flancs des vallées de s'échauffer davantage, a dû y diminuer la quantité des pluies; les vapeurs aqueuses, au lieu de se condenser, se sont élevées dans les hautes couches de l'atmosphère, ont accru la quantité de celles qui y existaient, se sont ensuite condensées sur les cimes élevées et froides, et ont contribué à augmenter la neige qui y tombe. « Ainsi, dit M. Necker, la diminution de pluie dans les vallées, occasionnée par les » progrès de leur défrichement, aurait produit une augmentation dans » la quantité de neige tombée sur les hauteurs environnantes, et ainsi » s'expliquerait la contradiction apparente que présentent, dans l'économie de leurs glaciers, les cimes et les bases des hautes chaînes. »

Malgré ce que cette hypothèse offre de simple et d'ingénieux à la fois, il nous semble que, pour qu'elle se réalisât, il faudrait considérer la Suisse ou les Alpes comme un espace fermé et où la somme des éléments de l'atmosphère fût invariable; mais l'extrême mobilité des particules de l'air ne permet pas de penser que ces compensations puissent s'effectuer dans un espace aussi restreint et ouvert à toutes les influences extérieures.

M. Agassiz (1) distingue deux espèces de glaciers. Il y en a, et c'est le plus grand nombre des petits glaciers, qui restent suspendus aux pentes les plus élevées des Alpes et qui se composent de champs de névé stratifié. Ils ne descendent point dans les vallées inférieures et leur épaisseur est peu considérable. La stratification est due aux assises de neige qui tombent à divers intervalles et aux croûtes de glace bleuâtre qui se forment à la surface. En descendant le long des pentes, les couches de ces glaciers deviennent arquées en avant par suite du mouvement plus rapide de leur centre, et elles prennent l'apparence de bandes concentriques à la surface, tandis que les bords se relèvent et s'engagent dans des couloirs offrant l'aspect de bandes longitudinales et verticales. Ces glaciers stratifiés sont concaves au milieu; ils sont fort inclinés, et la plu-

(1) Acad. des Sciences. Voyez *Comp. rend.*, 29 août 1842. — *Ann. des sc. géol.*, vol. I, p. 683. 1842.

Digitized by Google

part des crevasses sont longitudinales. Les glaciers ordinaires ont des bandes bleues formées verticalement dans le névé trempé d'eau; mais ces bandes ne restent pas verticales; elles s'inclinent en avant et vers les bords, en plongeant dans l'intérieur de la masse (1).

De la structure des glaciers et des bandes colorées.

Les glaciers, dit M. Agassiz (2), sont composés de fragments de glace depuis 13 jusqu'à 40 millimètres de diamètre. Ces fragments diminuent de grosseur à mesure qu'on s'élève vers la partie supérieure, où ils se réduisent alors en une masse grenue que nous avons déjà désignée sous le nom de névé (*firn*). Ce dernier, qui est un état intermédiaire entre la neige et la glace, ne se trouve que dans les hautes régions. Le névé est la neige congelée, et l'eau qui résulte de sa fonte dans les journées chaudes s'infiltre dans la masse, se gèle pendant la nuit, et transforme insensiblement le névé en glace compacte. Cet effet se produit de bas en haut, parce que l'eau tend toujours à descendre, et le névé inférieur est le premier imbibé. Plus les fragments sont grands, plus la glace est transparente; aussi l'est-elle toujours davantage vers le bas que vers le haut des glaciers, l'opacité résultant de l'air contenu dans les interstices.

La limite de la glace compacte et du névé est indiquée, à la surface des glaciers, par la présence des moraines. Celles-ci ne s'observent point sur les névés, qui n'ont pas non plus la faculté de repousser les blocs à la surface. Les diverses teintes de glace ne se voient que dans la glace compacte et non dans le névé. Elles sont même d'autant plus vives que la glace est plus compacte et plus épaisse. Leur origine et leur nature sont d'ailleurs peu connues encore.

A la réunion des savants italiens à Padoue (3), M. Agassiz s'est attaché à démontrer que l'on pouvait suivre la stratification originaire des névés depuis les plus hautes régions, à travers toute l'étendue des glaciers, jusqu'à leur extrémité inférieure. Les strates se relèvent sur les bords et à leur jonction lorsqu'ils viennent à déboucher par deux vallées. Ce phénomène est d'ailleurs tout à fait

(1) Voyez, pour le résumé des idées de MM. Agassiz et de Charpentier, un extrait de deux lettres de M. Studer à MM. de Leonhard et Bronn, sur la théorie des glaciers et des blocs erratiques (*Neu. Jahrb.*, n° 6. 1841. — *Ann. des sc. géol.*, vol. I, p. 503. 1842).
(2) *Etudes sur les glaciers*, p. 31. 1840.
(3) 1842, p. 10.

Digitized by Google

distinct des zones blanches ou bleues avec lesquelles il avait été jusqu'alors confondu. M. de Charpentier (1) n'admet cette stratification que pour les glaciers peu étendus, et il pense que sur les bords des grands glaciers la stratification n'est qu'une fausse apparence, due au renversement des fragments de glace les uns sur les autres. Il n'y aurait aucun rapport non plus entre le fait signalé par M. Agassiz et la stratification tabulaire observée par M. Forbes, cette dernière résultant de petits filons de glace qui parcourent les névés dans des directions diverses et en général très inclinées.

M. Godeffroy (2) attribue les bouleversements que l'on observe dans les glaciers inférieurs aux divisions par tranches parallèles et verticales, formant des plans parallèles courbes dont la convexité est tournée en avant ou dans la direction de la pente du glacier, puis à un autre clivage qui divise toute la masse en tranches horizontales superposées, entre lesquelles sourdent les eaux. Ces deux systèmes de fentes se coupant à angle droit partagent tout le glacier en longues bandes prismatiques plus ou moins régulières ; et, d'après l'auteur, les pyramides et les aiguilles de glace ne seraient que des fragments de ces prismes rompus et soulevés par la pression sur cette masse devenue incohérente.

A la surface des glaciers, continue M. Godeffroy, les blocs et les pierres sont disposés sur des bandes d'une glace plus foncée, et sillonnent les glaciers dans la direction de leur pente. Ces bandes sont parallèles et séparées par d'autres plus larges, d'une glace plus claire et sans débris. Les *bandes noires* sont celles qui suivent les bords des glaciers, et les *veines noires* sont celles de leur surface médiane. L'auteur conclut, des rapports qu'il a cru trouver entre ces bandes et les moraines, que les bandes noires ne sont que des masses provenant directement des moraines qui les déversent et les reprennent périodiquement par l'effet des mouvements auxquels les grands glaciers sont sujets. Les veines noires formées de pierres morainiques, comme les bandes latérales, et placées sur un large sillon de glace foncée, seraient d'anciennes bandes noires latérales de deux glaciers réunis et demeurés intacts pendant leur progression. Il y aurait ainsi autant de veines noires, moins une, que de glaciers réunis dans la coulée commune. M. Rendu (3) ap-

(1) *Réunion des savants italiens à Padoue*. 1842.
(2) *Notice sur les glaciers, les moraines*, etc. 1840.
(3) *Théorie des glaciers de la Savoie*. 1840.

Digitized by Google

pelle *traînées boueuses* les bandes et les veines noires de M. Godeffroy. Il pense que ces débris tombent des montagnes environnantes par suite de leur altération, des avalanches, etc., et que le glacier les charrie comme le ferait un fleuve.

M. J.-D. Forbes, dans le beau travail qu'il a publié sur les Alpes de la Savoie (1), nomme *structure des glaciers* l'arrangement intime des particules d'eau glacée. Dès le mois d'août 1841 (2), il avait décrit la structure rubanée du glacier de l'Aar, qui offre des bandes successives de couleurs bleu tendre et blanc bleuâtre traversant la glace perpendiculairement et parallèlement à la longueur du glacier; et dans son dernier ouvrage, il attribue cette structure à l'alternance de bandes ou veines parallèles de glace de textures diverses. Ces bandes se distinguent par la différence de leur dureté et par celle de leur couleur, qui se reconnaît même dans de petits échantillons de glace. Vue en dessus ou perpendiculairement à la direction de la structure rubanée, la glace est opaque; mais regardée parallèlement aux veines, on trouve que des bandes translucides ou demi-opaques alternent avec d'autres parfaitement pures et vitreuses. Les premières, vues en grand, paraissent être blanc-verdâtre, et les dernières, d'une teinte bleue. Celles-ci sont formées de glace pure; celles-là, d'une glace qui, sans être grenue ou neigeuse, est remplie d'une multitude de bulles d'air diversiformes, disséminées, toujours disposées suivant des plans parallèles, plus ou moins abondantes et produisant plus ou moins d'opacité. Le bleu, d'après M. Forbes, serait la couleur propre de l'eau à l'état solide ou liquide. La direction des bandes dépend de la configuration du glacier et de la nature de ses limites. Dans un glacier très allongé ou qui suit un canal étroit, comme le glacier inférieur de l'Aar, la direction est presque parallèle au sens de la longueur; sur celui du Rhône, les bandes décrivent des lignes ovales à la surface de la glace et plongent à l'intérieur sous des angles très grands.

L'auteur signale en outre, sur toute l'étendue de la Mer de Glace, une série de bandes brunâtres presque hyperboliques. La courbe ayant sa pointe dirigée vers le bas, ses deux branches se

---

(1) *Travels through the Alps*, etc. Voyages dans les Alpes de la Savoie, in-8, cartes et vues. Édimbourg, 1843.

(2) *Edinb. new phil. Journ.*, n° 63, p. 84. 1841. — *Ann. des sc. géol.*, vol. I, p. 332. 1842.

Digitized by

joignent aux moraines et offrent l'apparence de vagues successives s'emboîtant les unes dans les autres du haut en bas du glacier. Ces bandes, que l'auteur nomme *bandes de boue*, sont formées par les parties terreuses et sableuses que poussent à la surface du glacier les vents, les avalanches et les cours d'eau. Ces matières entrent dans la portion du glacier dont la glace est le plus poreuse, et sont ainsi les indices d'une structure particulière, celluleuse et veinée, traversant dans ces directions la masse du glacier.

Passant ensuite aux crevasses, qui sont généralement perpendiculaires à la structure, M. Forbes n'admet pas qu'elles soient transverses au glacier et qu'elles présentent leur convexité vers le bas. Elles seraient, d'après lui, presque entièrement renouvelées chaque année. Ces crevasses et la structure particulière de la glace avaient bien été décrites par Scheuchzer, MM. Hugi, de Charpentier et Agassiz; mais les veines de clivage ou la structure rubanée ne paraissent point avoir été mentionnées avant M. Forbes.

M. Agassiz (1) semble admettre aussi l'existence des *bandes boueuses* dont nous venons de parler; mais il insiste encore sur la stratification des glaciers, et distingue les strates (*annual rings*), de la structure veinée proprement dite de la glace. Adoptant la manière de figurer la partie inférieure du glacier proposée par M. Forbes, il attribue cette disposition à la stratification horizontale des couches de névé. La coupe théorique que donne ensuite M. Agassiz est combattue par M. Forbes, qui pense que la structure est et doit être formée par le glacier lui-même, et non dans le névé. Dans celui de Macugnaga, ajoute-t-il, les deux structures perpendiculaires l'une à l'autre sont parfaitement distinctes.

M. Agassiz (2) a reconnu, en 1842, que l'infiltration avait lieu plus vite dans les bandes bleues que dans les blanches. Les bandes bleues seraient de l'eau congelée en lames verticales dans le névé lorsqu'il s'épure, et qui se maintiennent en s'agrandissant et en subissant diverses modifications dans le cours du glacier; tandis que la glace blanche est le résultat du mélange du névé et de l'eau qui, en se congelant ensemble, forment une sorte de poudingue de neige grenue, d'air et d'eau. M. Desor (3) a signalé aussi les bandes

(1) *Proceed. Ashmolean Soc.* — *The Athenæum*, fév. 1843. Note de M. Twiss.

(2) Acad. des sciences, *Comp. rend.*, 8 août 1842. — *Ann. des sc. géol.*, vol. I, p. 679.

(3) *Bull.*, vol. XIV, p. 326. 1843.

Digitized by Google

des glaciers qui, d'abord droites et transverses, deviennent arquées à mesure qu'on les examine plus près de l'extrémité inférieure du glacier, et finissent par former des ogives très allongées. Les bandes bleues verticales seraient des lames de glace d'eau, intercalées dans la glace de neige, avec laquelle elle contraste par sa transparence et sa teinte bleuâtre. Quant aux *bandes boueuses* de M. Forbes, elles ne seraient point superficielles, comme l'avait pensé ce physicien, M. Desor (1) ayant fait voir qu'elles étaient les traces manifestes de la stratification primitive. Celle-ci se maintient dans toute l'étendue du glacier, et l'existence de ces traces a été constatée jusqu'à une grande profondeur dans la masse même du glacier. M. Martins (2) a signalé des courbes noires paraboliques, dont la convexité était tournée vers le bas ou en sens inverse des autres.

D'après M. Stark (3), il n'y aurait pas de différences constantes dans la structure cristalline de la glace pour les diverses parties d'un glacier. La glace pure et compacte se rencontre, dit-il, à toutes les hauteurs, et aucun changement n'a lieu dans ses parties jusqu'à la dissolution de la masse. Il conclut ensuite de ses observations :

1° Que les couches horizontales signalées par divers auteurs, et que l'on a nommées *structure par bande*, semblent n'exister que dans les régions supérieures des montagnes. Les couches qui ont de 0,30 à 1 mètre d'épaisseur représentent plutôt des chutes de neige successives que la totalité des neiges tombées pendant l'hiver. 2° Que les couches longitudinales et verticales décrites comme nouvelles par M. J.-D. Forbes avaient été déjà signalées par Gruner en 1760, par Desmarest en 1779, par Scoresby en 1824, et par d'autres encore; cette structure résulte des vides qui se trouvent entre le glacier et la roche qui borde ses côtés, à mesure qu'il descend dans une vallée plus large; ces vides, se remplissant ensuite de neige et d'eau congelée, finissent par donner lieu à une série de plans verticaux. 3° Que les couches horizontales des hauts glaciers se combinent avec les couches longitudinales et verticales à mesure que le glacier descend. Quant aux couches inclinées,

---

(1) *Soc. philomatique de Paris*, 16 mai 1846. — *L'Institut*, id.

(2) *Nouvelles observations sur le glacier du Faulhorn* (*Bibl. univ. de Genève*, vol. LVI, p 323. 1845).

(3) *Sur la structure et le mode de formation des glaciers* (*Rep. 12th Meet. brit. Assoc.*, 1842, p. 58. — *Ann. des sc. géol.*, vol. I, p. 599).

Digitized by Google

elles résulteraient de la destruction accidentelle des lignes de stratification qui existaient primitivement ; enfin ces différentes formes pourraient encore se trouver réunies dans le même glacier (1).

Les recherches suivies auxquelles les glaciers modernes ont donné lieu récemment ayant pour principal but de trouver un agent capable d'expliquer le transport des blocs erratiques, on conçoit que les études ont dû se porter particulièrement sur les mouvements mêmes des glaciers ; aussi trouverons-nous à cet égard une grande quantité d'observations et d'explications que nous exposerons, en suivant, autant que possible, une marche chronologique. Du mouvement des glaciers et de ses effets.

M. R. Mallet a communiqué, en 1837, à la réunion de l'Association britannique, un *Mémoire sur le mécanisme du mouvement des glaciers* (2), travail dans lequel, après avoir établi l'insuffisance des hypothèses proposées par les auteurs, il attribue la cause du mouvement à la pression hydrostatique de l'eau accumulée entre la glace et les roches qui forment son lit, et au-dessus desquelles le glacier flotterait pour ainsi dire à certains moments. Suivant lui, la fonte du glacier au contact du sol est indépendante des saisons, tandis que c'est l'inverse pour la surface extérieure et pour la neige ; aussi l'été n'y a-t-il pas d'obstacle à l'écoulement des eaux provenant de la fonte, tandis qu'il y en a en hiver, époque à laquelle l'eau de dessous ne peut plus s'écouler. Le glacier est alors soulevé jusqu'à ce qu'une nouvelle issue ayant été ouverte, les eaux s'écoulent de nouveau, et le glacier descend dans la vallée sur une certaine étendue. Nous n'essayerons point de discuter les opinions de M. Mallet ; elles se trouveront naturellement réfutées par celles dont nous allons parler.

Si l'on remarque, dit M. Rendu (3), un point du glacier reconnaissable par une crevasse, une pyramide ou un bloc de rocher à sa surface, et que l'on fixe la situation de ce point par une ligne qui aboutisse aux deux côtés de la vallée, on verra, au bout de quelques mois, que l'objet remarqué aura avancé vers le bas

---

(1) Voyez, pour la teinte bleue de la neige et le commencement de la formation du névé et de la glace dans les Vosges en 1845 : Collomb (*Bull.*, 2e sér., vol. II, p. 394. 1845. *Id.*, vol. III, p. 536. 1846). — Desor, *Sur la structure des glaciers* (*Bull.*, vol. III, 2e sér., p. 528. 1846).

(2) *Rep. 7th Meet. brit. Assoc. at Liverpool*, vol. VI, p. 64 (Londres, 1838).

(3) *Théorie des glaciers de la Savoie*, p. 22. 1840.

d'une quantité en rapport avec la durée du temps écoulé, la température, la quantité d'eau tombée à la surface du *glacier réservoir*, et même avec l'inclinaison du couloir. Sur le glacier des Bois, ce mouvement a été de 78^{m},60 dans une année. En 1818, le mouvement s'est trouvé de 143^{m},50, et en 1817 il avait été à peu près de 0^{m},32 par jour. On sait qu'Ebel avait attribué aux glaciers un mouvement de 5 à 8 mètres seulement. M. Rendu a reconnu en outre (p. 63) qu'au milieu du glacier le mouvement est plus rapide que sur les bords, où il est retardé par le frottement de la glace contre les rochers qui constituent les parois de la vallée. Les crevasses transversales et verticales forment, non pas des lignes droites, mais des courbes dont la convexité est tournée vers le bas de la vallée, ce qui prouve encore que le mouvement est plus rapide vers le centre que sur les côtés. Cette observation extrêmement remarquable de M. l'évêque d'Annecy, et que nous ne sachions pas que personne ait faite avant lui, est la seule sur laquelle on soit aujourd'hui d'accord, et elle doit servir de base à toutes les recherches que l'on entreprendra sur la cause ou l'origine du mouvement lui-même.

Les glaciers, dit M. Agassiz (1), se meuvent continuellement dans le sens de leur pente. Depuis de Saussure, on attribuait ce mouvement à un glissement en vertu de la pesanteur propre du glacier; mais il serait plutôt dû à la dilatation de la glace, résultant de la congélation de l'eau qui s'y infiltre, par suite de sa structure celluleuse et bréchiforme. L'eau des pluies, ou celle qui provient de la fonte de la partie superficielle, remplit les pores de cette masse spongieuse et fissurée en tous sens, s'y congèle par le moindre abaissement de température, et tend à dilater le glacier. Celui-ci étant contenu latéralement par les flancs de la vallée, et en haut par le poids de la masse supérieure, l'effet de la dilatation s'exerce alors dans le sens de la pente et se trouve aidé par la gravitation. Plus les alternatives de congélation et de dégel, ou les variations de température au-dessus et au-dessous de zéro, sont fréquentes, plus la marche du glacier est rapide; aussi l'hiver, saison pendant laquelle la masse reste congelée, est-il le temps du repos. La marche du glacier n'est pas uniforme dans toutes ses parties, composées d'une série de couches qui diminuent d'épaisseur de

(1) *Bull.*, vol. IX, p. 443. — Réunion extraordinaire de Porrentruy. 1838.

Digitized by Google

haut en bas, et qui représentent les couches additionnelles que le glacier reçoit chaque année.

La forme et les accidents du sol que recouvre un glacier influent sur l'état de sa surface plus ou moins convexe, fendillée transversalement, ou bien unie et régulière. « En un mot, dit le savant » auteur, un glacier est un fleuve de glace stéréotypé, avec ses cas» cades, ses rapides, ses remous et ses calmes, dont la masse su» perficielle coulerait plus vite, et dont les parties latérales sont » influencées par la forme du lit dans lequel il se meut. »

Relativement à l'explication précédente, M. Studer (1) a fait remarquer qu'on ne concevait pas bien comment, dans la saison chaude, l'eau peut se congeler dans l'intérieur du glacier plutôt qu'à la surface, où elle ne gèle dans la nuit tout au plus que de l'épaisseur de 2^{mm},25; qu'en outre, l'eau reste liquide dans les crevasses les plus profondes, et qu'enfin la glace fond à la base du glacier. Cette hypothèse a été combattue aussi par M. A. de Luc (2), qui attribue le mouvement à l'accumulation des neiges dans la partie supérieure et à la fonte de la base du glacier au contact du sol. M. Necker (3), en se prononçant pour l'opinion de de Saussure, repousse la dilatation de l'eau congelée; car l'eau qui se congèle, se dilatant de 1/7, ne peut, dit-il, suffire dans aucun cas pour expliquer un pareil phénomène. Il croit en outre que le mouvement est uniforme dans les diverses parties d'un glacier.

Dans ses *Études sur les glaciers* (p. 167), M. Agassiz, revenant sur cette question, fait observer que ce n'est point la congélation de l'eau dans les crevasses, comme l'a dit M. Toussaint de Charpentier, qui produit le mouvement, mais celle de l'eau qui se trouve dans le réseau profond des fissures capillaires dont toute la masse de glace est plus ou moins distinctement pénétrée. Mais M. W. Hopkins (4) a rejeté aussi cette explication, en démontrant que cette cause de mouvement pouvait à peine exercer une influence appréciable. Quant aux crevasses, continue M. Agassiz (p. 83), elles sont produites par les différentes températures qui règnent dans les diverses parties de la masse, et qui, occasionnant des tensions plus ou moins

(1) *Bull.*, vol. IX, p 407. 1838.
(2) *Bibl. univ. de Genève*, vol. XXI, p. 141.
(3) *Etudes géologiques dans les Alpes*. 1841.
(4) *Theorical investigations*, etc. Recherches théoriques sur le mouvement des glaciers. Cambridge, 1842.

Digitized by Google

fortes, doivent la rompre suivant des directions en rapport avec ces tensions. Le massif du glacier (p. 86) marchant plus vite près des bords qu'au centre, les crevasses sont plus ou moins arquées, et leur convexité est tournée en amont de la vallée. Ainsi l'auteur n'admet point encore l'importante remarque de M. Rendu, qui est complétement l'inverse de la sienne.

M. de Charpentier (1) croit, avec M. Agassiz, que l'expansion produite dans la masse du glacier et son augmentation de volume par la congélation de l'eau dans toutes les fissures intérieures, devront agir dans le sens de la moindre résistance, c'est-à-dire dans le sens de la pente du glacier et dans celui de son épaisseur. Il fait voir en outre que si, dans le courant d'un été, la température est telle que les glaciers fondent d'une quantité égale, supérieure ou moindre, relativement à l'augmentation de leur volume, tant par la congélation de l'eau absorbée que par l'avancement du haut névé, on dira qu'*ils sont stationnaires*, qu'*ils se retirent* ou qu'*ils avancent*.

Après avoir expliqué pourquoi, dans une même année, certains glaciers augmentent, tandis que d'autres diminuent, l'auteur s'attache à réfuter l'opinion que les glaciers se meuvent par leur propre poids ou par un véritable glissement. Les uns, dit-il, reposent sur une pente beaucoup trop rapide ; les autres, au contraire, sur une pente trop faible ; et quant à la pression exercée par le haut névé à la partie supérieure, elle serait également incapable de produire cet effet. L'immobilité pendant l'hiver, où les neiges s'y accumulent, est en outre opposée à cette ancienne explication, que nous venons de voir encore défendue par M. A. de Luc. Ainsi le mouvement des glaciers serait produit par la dilatation qu'ils éprouvent au moment de la congélation de l'eau qu'ils ont absorbée, comme l'avaient avancé Scheuchzer dès 1705, MM. Toussaint de Charpentier et Biselx en 1819 (2), et comme l'a déduit aussi M. Ch. Martins (3) de ses recherches sur les glaciers polaires comparés à ceux de la Suisse. M. de Charpentier explique ensuite comment il conçoit que des glaciers peuvent se mouvoir sur des pentes rapides sans prendre un mouvement d'accélération ; puis il examine la force d'expansion des glaciers, qui est telle, qu'ils détruisent et renver-

(1) *Essai sur les glaciers*, p. 22. 1841.

(2) Gilbert's, *Ann. der phys.*, vol. LXIII, p. 388. 1819. — *Bibl. univ. de Genève*, vol. XI et XII.

(3) *Note sur les glaciers en général* (*Bull.*, vol. XII, p. 125. 1841).

Digitized by Google

sent tout ce qui se trouve sur leur passage et qui n'appartient pas aux roches en place.

Dans une lettre adressée à l'Académie des sciences au mois d'août 1842, M. Agassiz (1) a annoncé que la marche annuelle du glacier de l'Aar pouvait être estimée à 71^{m},50. Pendant l'hiver, le glacier est resté sans mouvement.

M. J.-D. Forbes, qui avait déjà démontré l'impossibilité d'admettre le mouvement des glaciers glissant par leur propre poids sur un plan incliné (2), est revenu plus tard sur ce sujet (3). Le savant écossais remarque (p. 126) que, dans l'hypothèse de de Saussure, la distance entre deux points déterminés d'un glacier reste la même; dans celle de M. de Charpentier, elle doit, au contraire, s'accroître constamment. Dans la première, le progrès annuel d'un point du glacier est indépendant de sa position; dans la seconde, le mouvement s'accroît avec la distance depuis l'origine du glacier, la section transversale de la glace restant la même. On conçoit alors que le problème sera résolu en mesurant exactement et à diverses époques, des espaces compris entre des points marqués sur des blocs isolés placés sur le glacier, ou bien entre des piquets enfoncés dans la glace, et par la détermination de leur progrès annuel (4).

M. J.-D. Forbes (p. 131), ayant choisi deux points fixes sur l'un des côtés du glacier des Bois, et pratiqué un trou vertical dans ce dernier, observa matin et soir, pendant quatre jours consécutifs, la position du trou par rapport à ces points, et il trouva que le mouvement était sensiblement le même le jour et la nuit : il avait été successivement de 15,2 pouces (5), de 16,3, de 17,5 et de 17,4 par vingt-quatre heures. Le mouvement se manifestait même dans l'espace d'une heure et demie; ainsi sa continuité s'est trouvée constatée d'une manière précise. Les marques faites aussi sur la roche indiquaient une descente régulière, dans laquelle le temps était marqué comme par l'ombre sur un cadran, « et l'évidence » parfaite que je venais d'obtenir pour la première fois, dit

(1) *Comp. rend.*, vol. XV. p. 284. — *Ibid.*, 8 août 1842, p. 435 et 1214, 16 décembre 1842.

(2) *Ann. de chim. et de phys.*, oct. et nov. 1842, p. 35.

(3) *Travels through the Alps*, etc. Voyages dans les Alpes de la Savoie. Edinburgh, 1843.

(4) *Edinburgh Review*, avril 1842.

(5) Toutes les mesures de M. Forbes sont en pieds et pouces anglais. Voyez la Table de réduction placée à la fin de l'*Introduction*.

Digitized by Google

» M. Forbes, que, même tandis que je marchais sur un glacier, » j'étais chaque jour et à chaque heure imperceptiblement entraîné » par le flot irrésistible de ce courant de glace, me remplit d'admi- » ration et même de respect, alors que je découvrais aussi, avec un » vif intérêt, les lois qui pouvaient résulter de ce mode d'obser- » vation. »

L'auteur a cherché ensuite à s'assurer, également par des mesures trigonométriques, si, comme on l'avait dit, les côtés du glacier se meuvent d'un mouvement plus rapide que le centre. Il pratiqua à cet effet dans la glace deux trous alignés entre deux points fixes pris sur les roches de chaque côté du glacier. Le premier trou était à 300 pieds du bord occidental, c'est-à-dire à une distance presque correspondante à la position de la station précédente, située 5,200 pieds plus haut, et où il avait mesuré le mouvement de translation; le second trou, placé à 795 pieds plus à l'est, se trouvait vers le centre du glacier, et à 150 pieds de la première moraine. Du 29 juin au 1er juillet, dans l'espace de vingt-quatre heures, le mouvement du glacier, à 300 pieds du bord, fut de 17,5 pouces, et vers le centre de 27,1 pouces. Le premier chiffre confirmait donc l'observation déjà faite à 5,200 pieds plus haut et à la même distance du bord, et le second prouvait, d'une part, que l'opinion généralement reçue, et que nous avons vue adoptée par M. Agassiz (*antè*, p. 252) n'était pas exacte, tandis que de l'autre il appuyait celle qu'avait déjà émise M. Rendu, circonstance que M. Forbes lui-même paraît avoir ignorée. Enfin il fut démontré que le courant de glace, comme celui d'une rivière, était plus rapide vers son centre que sur ses bords.

Des trous placés entre les précédents ont prouvé en outre que la vitesse des parties centrales est presque partout la même, et que les plus grandes différences se remarquent sur les bords, là où le frottement pouvait être supposé se comporter exactement comme dans un courant d'eau. Ces dernières observations ayant été faites à la hauteur du Montanvert, M. Forbes voulut s'assurer si le mouvement était encore le même plus haut ou plus près de l'origine du glacier. A cet effet, il répéta ses mesures sur le glacier de Léchaud, entre le promontoire du Couvercle et le Tacul, et il reconnut que le bloc isolé sur la glace qu'il avait pris pour objet de comparaison s'était avancé de 30 pouces 3/4 du 27 au 30 juin, ou de 10,2 pouces par jour. Ainsi le glacier paraît marcher plus lentement à mesure qu'on remonte vers son origine. Ces observations, que le savant physicien

Digitized by Google

a continuées jusqu'au 28 septembre, ont été réunies avec beaucoup d'autres dans un tableau synoptique, et il a déduit de leur ensemble les conséquences suivantes :

1° Le mouvement des parties élevées de la Mer de Glace est en général plus faible que celui de ses parties inférieures, mais le mouvement de la région moyenne est plus faible que celui des unes et des autres. Le glacier se comporte en cela comme le ferait un courant d'eau, plus rapide sur les points où son lit est resserré que dans ceux où il s'élargit. En comparant la vitesse du glacier à la hauteur du Montanvert, et à 300 pieds du bord, où elle s'est trouvée de 1,579,8 pouces, du 27 juin au 17 septembre, vitesse que l'on peut représenter par 1,000, à celle d'un point situé au débouché du glacier de Léchaud, et qui serait représentée par 0,479, le mouvement y étant moindre, et enfin à un troisième point encore plus élevé, situé à 23,000 pieds de la station inférieure du Montanvert et à 8,000 pieds de distance de la grande Jorasse, et où le mouvement est exprimé par 0,674, on voit que les vitesses observées à ces diverses stations sont contraires à l'hypothèse qui attribue le mouvement des glaciers à la dilatation.

2° Le glacier du Géant se meut plus vite que celui de Léchaud dans le rapport de 7 à 6, et après leur réunion, les glaciers de Léchaud et du Talèfre n'occupent qu'un peu plus du tiers de la largeur totale de la Mer de Glace. Lorsque deux glaciers sont réunis, ils agissent comme un seul et se comportent absolument comme le feraient deux rivières qui se jettent l'une dans l'autre. La plus grande différence de vitesse entre les bords des glaciers et le centre se trouve à une petite distance des bords, et de ce point jusqu'au centre l'accroissement est peu sensible. En représentant par 1,000 la vitesse à 100 mètres du bord, elle sera de 1,332 à 130 mètres, puis de 1,356 et enfin de 1,367 vers le centre. Ainsi, entre 100 et 130 mètres, la vitesse s'est accrue de plus du tiers, ce qui est dû, comme dans le cas d'un cours d'eau, au frottement contre les parois rocheuses ou encaissantes de la vallée. En supposant le glacier glissant sur sa base, la partie en contact avec le fond aurait encore un mouvement moins rapide que les parties superficielles.

La différence de mouvement entre le centre et les côtés du glacier varie suivant les saisons et sur divers points de la longueur du glacier. Dans le premier cas, la différence de la vitesse diminue à mesure que la saison s'avance, comme du 29 juin au 28 septembre; dans le second, la variation de la vitesse est moins considérable

Digitized by Google

dans les parties supérieures du glacier ou près de son origine ; et l'on peut conclure que la différence de la vitesse dans la largeur d'un glacier est proportionnelle à la vitesse absolue au moment de l'observation. Ainsi, la vitesse absolue du glacier du Géant est plus grande que celle du glacier de Léchaud, mais moindre que celle de la Mer de Glace au Montanvert.

La disposition du temps au dégel et l'humidité de la glace concourent à l'avancement du glacier, et le froid, soit soudain, soit prolongé, arrête sa marche. Il y a donc une relation intime entre l'état de l'atmosphère, sec et froid, ou bien chaud et humide, avec le mouvement du glacier, et les variations de vitesse sont simultanées dans toute son étendue, ce qui prouve également la généralité de la cause. Du 18 au 27 septembre, le temps devint froid, il tomba de la neige, et le mouvement fut sensiblement ralenti à toutes les stations ; puis le temps se radoucit, la neige qui couvrait la partie inférieure du glacier disparut, et celui-ci reprit une vitesse égale à celle de l'été. Or, dit M. Forbes, si la marche était le résultat de la congélation, la glace ayant été saturée d'humidité par les pluies de septembre, la semaine de gelée qui suivit aurait dû produire un effet sensible d'accélération en proportion du froid qui pénétrait la masse du glacier, et ce fut précisément l'inverse qui eut lieu.

Aux mêmes températures, la vitesse du glacier n'est pas nécessairement la même, *et vice versâ*. Ainsi, en automne, à 0°, la vitesse est égale à celle de l'été, lorsque le thermomètre est à 10°; mais dans tous les cas, l'état d'humidité et de saturation du glacier paraît être la cause de la vitesse de sa marche, et une pluie douce ou la neige fondue produit le même effet que la chaleur intense du soleil. D'après M. Forbes, les glaciers ne restent point non plus complétement stationnaires en hiver, comme on l'a cru, et le témoignage des habitants ainsi que celui de de Saussure s'accorderaient avec ce qu'il a déduit de ses observations, sur le rapport qui existe entre la vitesse des glaciers et l'état de l'atmosphère.

En été, un glacier est pénétré, à une grande profondeur, par l'eau qui sature tous ses pores et qui ne gèle qu'en hiver, et encore partiellement. Un glacier n'est donc pas une masse de glace solide, mais un composé de glace et d'eau (p. 357). Aucune congélation intérieure n'a lieu durant l'été, lorsque le mouvement est le plus rapide et lorsque par conséquent la cause du mouvement devrait être le plus énergique. Ainsi M. Forbes a constaté qu'après plu-

Digitized by Google

sieurs jours de gelée, vers la fin de septembre, l'eau s'était maintenue liquide au fond du trou où il avait enfoncé des piquets, et cela à 2,407 mètres de hauteur absolue. Sur le glacier de Léchaud, la surface seule était gelée. La neige, qui, à cette époque, recouvrait le glacier, empêchait le froid de pénétrer à l'intérieur, d'abaisser la température et de congeler l'eau dont les fissures étaient remplies.

Les couches superficielles de la glace, ou mieux les bandes boueuses hyperboliques dont nous avons parlé, rappellent l'idée du mouvement d'un fluide. Elles ressemblent parfaitement aux lignes que formerait l'écume à la surface d'un fluide visqueux, si celui-ci était sur un plan ou dans un bassin incliné, et la cause de cette disposition résulte de la plus grande rapidité du mouvement au centre que sur les côtés. En outre, une masse de glace ne se mouvant pas uniformément dans sa section transverse, chaque série longitudinale de particules a, pour ainsi dire, son mouvement propre, par suite de sa position dans le courant, et l'on conçoit que la glace pourra être divisée par de nombreuses fissures, dont la direction générale sera parallèle à son mouvement. Ces fissures, se remplissant d'eau qui gèle dans l'hiver, produiront dans l'ensemble de la masse l'apparence de bandes transverses avec une texture différente.

Après avoir discuté la théorie du mouvement par la gravitation et fait voir qu'elle ne pouvait, pas plus que celle de la dilatation, rendre compte de la marche du glacier, M. Forbes expose la sienne qui consiste à regarder cette masse, plus ou moins congelée, comme un fluide imparfait, ou un corps visqueux, qui est sollicité sur des pentes d'une certaine inclinaison par la pression mutuelle de ses parties, effet comparable à celui d'un mortier moyennement épais, ou à un baril de goudron poussé dans un canal incliné. Cette manière d'expliquer le mouvement des glaciers, en les considérant comme un corps semi-fluide, avait été aussi proposée en 1842 par M. Trumpler (1).

En étudiant comparativement les lois du mouvement des fluides avec celles, très obscures encore et très peu connues, des matières plus ou moins pâteuses, mais dont les résultats sont cependant assez appréciables pour qu'on puisse juger des différences, soit par rapport au mouvement des fluides, soit par rapport à celui des corps complé-

---

(1) *Verh. d. Schweitzer naturf. ges. zu Altorf*, 1842, p. 92. Altorf, 1842.

Digitized by Google

tement solides, il en résulte que les glaciers se comportent exactement comme le ferait une substance demi-résistante ou visqueuse, s'étendant lorsqu'elle passe d'une gorge étroite dans une vallée large et ouverte, se resserrant, au contraire, lorsqu'elle passe de celle-ci dans un détroit ou canal resserré, ainsi que l'avait déjà indiqué M. Rendu (1). Cette théorie s'accorde donc avec la plus grande rapidité du mouvement au centre que sur les bords, et il doit en être de même en comparant le mouvement à la surface du glacier et au fond, quoique ce dernier ne puisse être constaté comme le premier. Si l'on remarque, en outre, que dans un glacier de 600 pieds d'épaisseur, les 100 pieds du dessus, conformément à la loi du décroissement du mouvement de la surface au fond, auront une vitesse presque uniforme, les crevasses qui se produisent chaque année n'inclineront pas sensiblement au-delà de cette quantité.

M. Forbes ne doute pas que les glaciers ne glissent sur leur lit aussi bien que les diverses parties de la glace les unes sur les autres, lesquelles changent par cela même de position relative, mais il maintient que le premier mouvement est causé par le second, et que la vitesse imprimée par la gravité aux parties centrales et superficielles du glacier, surtout près de son extrémité inférieure, entraîne avec elle les parties latérales inférieures; et, ainsi que l'a dit M. Élie de Beaumont, un glacier descend dans une vallée comme un corps entraîné de lui-même ou qui s'étend, et non comme un corps poussé seulement par une pression supérieure. Entre autres preuves de la ressemblance du mouvement d'un glacier avec celui d'une pâte demi-solide, l'auteur fait voir que le glacier a aussi ses lacs tranquilles et ses rapides. Lorsque des roches s'opposent à son passage, il s'amoncèle autour; si la pente diminue, sa vitesse diminue dans le même rapport; si le glacier parcourt, au contraire, une pente rapide ou un canal étroit, elle augmente. Ainsi, les vitesses des parties inférieure, moyenne et supérieure de la Mer de Glace, qui sont entre elles comme 1,398, 0,574 et 0,925, correspondent sur ces trois parties à des pentes de 15°, 4° 1/2 et 8°.

La structure de la glace serait en outre la conséquence de la théorie de la viscosité (p. 372). On a vu que cette structure consistait dans une alternance de glace bleue et blanche, ou bien compacte et aérifère. Des fissures dans la glace aérifère ou névé consolidé se remplissent

(1) *Théorie des glaciers de la Savoie*, p. 84.

Digitized by Google

d'eau qui gèle dans l'hiver et produisent les bandes bleues compactes. La structure rubanée et la modification des courbes hyperboliques seraient encore la conséquence du mouvement de la masse demi-fluide. M. Forbes a cherché en outre à appuyer sa théorie par des expériences directes faites avec des liquides visqueux, tels qu'un mélange de plâtre et de glu. Deux courants de cette substance, venant à se rencontrer, se sont confondus comme le font deux glaciers, et les coupes obtenues, lorsque ces courants artificiels ont été tout à fait consolidés, ont montré une structure et une disposition de lignes ou de zones hyperboliques comparables à ce que l'on observe dans les glaciers. Il y aurait de la sorte (p. 381) une conformité frappante entre les faits relatifs au mouvement et ceux qui se rapportent à la structure des glaciers; les uns et les autres, s'appuyant réciproquement, confirmeraient la théorie proposée.

En résumé, dit M. Forbes : 1° les différentes portions d'une coupe transverse d'un glacier se meuvent avec des vitesses différentes, et c'est vers le milieu que cette vitesse est la plus grande; 2° les circonstances qui accroissent la fluidité du glacier, ou mieux, qui affaiblissent la cohésion de ses parties, surtout la chaleur et l'humidité, accélèrent toujours son mouvement; 3° les surfaces rubanées ou veinées, occasionnées par les fissures qui ont traversé l'intérieur de la glace, sont aussi des surfaces de tension maximum dans une masse plastique ou demi-solide placée sur un canal incliné (1).

(1) M. Forbes a fait encore (p. 419) de nombreuses objections à l'expérience de M. Hopkins, d'un morceau de glace glissant sur une pierre avec une pente très faible, par la seule fusion et sans accélération de mouvement. Il a donné (p. 420) le mouvement d'un bloc de roche sur la Mer de Glace, près du Montanvert, du 4 avril au 8 juin 1843. Ce mouvement a été de 88 pieds 1 pouce, ou de 16 pieds 3 pouces par jour. En combinant avec les données de l'année précédente le mouvement total de la partie latérale du glacier du Montanvert, il trouve :

du 29 juin au 28 septembre.	132 pieds.
20 octobre au 12 décembre.	70
12 décembre au 17 février.	76
17 février au 4 avril.	66
4 avril au 8 juin.	88
Total du mouvement pour 322 jours. . . .	432
Total proportionnel pour l'année.	483

Le mouvement du centre est au moins de 2/5 plus grand, et correspond exactement aux intervalles des bandes boueuses.

Digitized by Google

De nouvelles expériences faites sur la Mer de Glace ont conduit plus récemment l'auteur à conclure : 1° que le glissement de la masse du glacier sur lui-même, par gradation insensible, ne peut être contesté, et qu'il suffit pour rendre compte de l'excès de vitesse du centre sur les côtés; 2° que ce mouvement différentiel a lieu dans la direction suivant laquelle existe la structure veinée, et qu'il est impossible de ne pas considérer l'un de ces phénomènes comme dépendant de l'autre (1).

M. Agassiz (2) a combattu plusieurs des résultats annoncés par M. Forbes, et a reconnu plus tard, contrairement à sa première opinion, qu'en effet les glaciers marchaient plus vite au milieu que sur les bords (3), et plus vite aussi dans les régions supérieures que dans les régions basses; ce qui est en opposition avec ce que le savant écossais avait avancé pour la Mer de Glace. Les expériences de M. Agassiz paraissent aussi contredire celles de M. Hopkins et démontrer que si le glacier peut glisser sur son fond par le fait de la fusion de la glace, due à la chaleur propre du sol, ce mouvement doit cesser au bout de peu de temps et dès que les aspérités de la glace se sont en quelque sorte moulées sur les inégalités du sol par suite de la fusion. La stratification se modifierait par la marche plus rapide du centre, et quant aux bandes bleues, ce serait de l'eau congelée dans les fissures longitudinales qui ne s'observent que sur la région moyenne des glaciers.

M. Élie de Beaumont (4) a déduit des observations de MM. Agassiz

---

(1) *Rep. 14th Meet. brit. Assoc. at York*, 1844 (Londres, 1845), p. 24 des *Proceedings*. — *L'Institut*, 30 oct. 1844. — Voyez aussi : J.-D. Forbes, *Illustrations of the viscous theory*, etc. Explication de la théorie visqueuse du mouvement des glaciers, Part. I, contenant les expériences sur l'écoulement des corps plastiques et les observations sur le phénomène des courants de lave (*Philos. transac.*, pour 1846, part. II, p. 143). — Part. II; *An attempt*, etc. Essai pour établir par l'observation la plasticité des glaciers, comprenant l'examen de la théorie de de Saussure, les modifications de cette théorie et les expériences faites à Chamouny sur la plasticité de la glace (*Ibid.*, p. 157). — Part. III; *On the movement*, etc. Sur le mouvement des glaciers de second ordre; sur le mouvement annuel des glaciers, et sur l'influence des saisons. Résumé de l'évidence déduite en faveur de la théorie (*Ibid.*, p. 177), avec 8 planches.

(2) *Ann. de chim. et de phys.*, vol. VII, p. 125. 19 nov. 1842.

(3) *Actes de la Soc. helvétique des sc. nat.*, 28e session, 1843, p. 72. — *Bull. Soc. sc. nat. de Neuchâtel*, 1843-1844, p. 3.

(4) *Soc. philom.*, 15 juillet 1843. — *L'Institut*, 10 août 1843.

Digitized by Google

et Desor que les glaciers n'adhéraient pas au sol et qu'ils glissaient par leur partie inférieure. Des trous de sonde étant restés verticaux d'une année à l'autre, le fil à plomb qu'on y a introduit jusqu'à 45m,50 ne s'est trouvé mouillé que par le bas et s'est maintenu sec dans tout le reste de sa longueur, d'où il résulte que toutes les tranches du glacier s'étaient avancées sans perdre de leur aplomb.

Plus tard, M. Gordon (1) est venu appuyer la théorie de la viscosité, en signalant la ressemblance qu'il avait remarquée dans les effets d'un courant de poix ; et M. Darwin (2), dans un mémoire sur l'analogie de la structure de quelques roches volcaniques avec celle des glaciers, a fait voir que les obsidiennes du Mexique offrent une disposition zonée comme la glace de certains glaciers. Ces zones sont dues à une plus ou moins grande quantité de cavités aériennes aplaties (3). M. J.-D. Forbes (4) a comparé de son côté les courants de lave avec les glaciers, et il a fait voir que leurs différences provenaient de ce que la lave était très liquide à son origine et que sa solidification était graduelle quoique inégale.

M. E. Desor, qui a étudié les glaciers avec non moins de persévérance et de sagacité que M. Agassiz, a confirmé les observations de ce dernier et constaté, par des expériences directes, que la vitesse du mouvement décroissait de haut en bas, à partir d'une région plus ou moins voisine du névé. Cette diminution serait en rapport avec la forme des moraines médianes qui s'élargissent d'autant plus que le mouvement se ralentit, et l'on pourrait juger ainsi, jusqu'à un certain point, de la vitesse relative des différentes parties d'un glacier d'après la disposition de ces mêmes moraines. Il a trouvé en outre, relativement au maximum du mouvement journalier au milieu du glacier, que l'avancement dans les temps froids et bru-

(1) *Soc. roy. d'Edimbourg*, 3 fév. 1845. — *L'Institut*, 16 juill. 1845. — *London, Edinb.*, etc., *Phil. Magaz.*, 3e série, vol. XXVI, p. 206. 1845.

(2) *Soc. roy. d'Edimbourg*, 3 fév. 1845.—*L'Institut*, 16 juillet 1845. — *Edinb. new phil. Journ*, vol. XXXVIII, p. 370-372. 1845.

(3) Voyez aussi : *Remarques sur les dernières observations faites au glacier de l'Aar en 1844, sous la direction de M. Agassiz*, par M. J.-D. Forbes (*Edinb. new phil. Journ.*, n° 76. 1845. — *L'Institut*, 16 juillet 1845, p. 262). L'auteur y signale, à l'appui de ses idées, de nouvelles preuves déduites des observations mêmes de M. Agassiz.

(4) *Bibl. univ. de Genève*, vol. LV, p. 339. 1845.

Digitized by Google

meux avait été de $0^m,155$, et dans les temps chauds et sereins de $0^m,230$, résultats peu différents de ceux obtenus par M. Forbes, lorsqu'on pense aux causes nombreuses qui doivent les faire varier dans des lieux et des temps différents. Si d'ailleurs M. Desor diffère d'opinion avec ce dernier, qui a cru reconnaître que le mouvement était plus rapide à la partie inférieure du glacier que vers son origine, il partage complétement sa manière de voir quant au maximum du mouvement en été et à son extrême ralentissement, si ce n'est même quelquefois son repos absolu, pendant l'hiver (1).

M. Desor s'est aussi attaché à démontrer que la marche des glaciers latéraux à fortes pentes était plus lente que celle du glacier principal dont la pente est très faible, et que la pente elle-même avait peu d'influence sur le mouvement des glaciers, tandis que la masse agit d'une manière beaucoup plus directe sur sa vitesse. Peut-être cette conclusion du collaborateur de M. Agassiz auraitelle dû être appuyée sur des calculs directs entre les vitesses proportionnelles des masses sur des plans diversement inclinés, et sur les rapports entre les volumes et les inclinaisons, tout en tenant compte de l'état d'une masse de glace qui ne se meut pas absolument comme une masse homogène dont tous les points seraient invariablement fixés les uns aux autres.

Les observations de MM. Desor et Agassiz ont été continuées par M. Dollfus-Ausset pendant l'hiver de 1846, et M. Ch. Martins (2) a fait connaître le résultat de ces recherches jusqu'à l'automne de cette même année. « Du 18 août à midi jusqu'au 29 à » 6 heures 1/2, le glacier a marché de $1^m,874$, soit $0^m,173$ par » 24 heures. Cette marche a été uniforme de jour et de nuit, in- » dépendante des changements de température, de la pluie, de la » neige, en un mot de toutes les modifications atmosphériques. » Une série d'observations faites par MM. Agassiz et Desor, du » 18 juillet au 13 août 1845, avait donné pour l'avancement moyen » $0^m,187$ par 24 heures; accord remarquable, si l'on a égard à la » perfection relative des moyens d'observation. »

D'autres expériences paraissent avoir établi que la vitesse de la progression d'un glacier n'est pas, comme on l'a cru longtemps, en raison de la pente sur laquelle il se meut. Ainsi la pente du glacier de Grunnberg est de 30°, celle du glacier de l'Aar de 3°; néan-

(1) Voyez aussi: Agassiz, *Bull.*, 2e sér., vol. III, p. 445. 1846.
(2) *Comp. rend.*, vol. XXIII, p. 823. 1846.

Digitized by Google

moins un piquet placé au milieu du premier ne s'est avancé que de $2^m,22$ en 17 jours, et sur le second, à la même distance relative de l'extrémité inférieure, il s'est avancé de $2^m,94$. Le ralentissement de la marche, dans cette partie inférieure du glacier, a encore été constaté dans une autre circonstance (1).

M. W. Hopkins (2) qui, comme nous l'avons dit, s'était occupé dès 1842 de recherches théoriques sur le mouvement des glaciers, a de nouveau soumis cette question aux calculs de l'analyse étayés de quelques expériences directes. Après avoir examiné l'état actuel de la théorie à ce sujet, il fait voir que toutes les explications proposées sont des hypothèses incomplètes, plus ou moins basées sur des suppositions en désaccord, soit avec l'expérience directe, soit avec l'observation. Ainsi, l'opinion de de Saussure est contraire aux faits relatifs aux corps glissants; dans les théories de la dilatation, celle de M. Agassiz, et de l'expansion, celle de M. de Charpentier, les alternances de dégel et de gelée sont inadmissibles, et la puissance mécanique des causes assignées par ces théories, en supposant que ces causes soient réelles, est une hypothèse purement gratuite; enfin, la viscosité de la masse de glace, invoquée par M. J.-D. Forbes, semble être en opposition avec le témoignage des sens.

Frappé de ces difficultés, le savant mathématicien de Cambridge a cherché si le mouvement, sur un plan incliné, d'une masse de glace qui aurait sa surface inférieure dans un certain état de désintégration, ne répondrait pas aux conditions du problème. Au moyen de quelques expériences et de l'application du calcul, il est arrivé à faire voir qu'un glacier est une masse disloquée, dont tous les plans de dislocation ou de discontinuité étant verticaux ou presque verticaux, facilitaient ainsi un mouvement plus rapide au centre que sur les bords, mais non celui de la partie supérieure relativement à la partie inférieure. Ses recherches sur la température interne du glacier l'ont aussi amené à conclure que généralement la température de la surface inférieure ne peut être moindre que zéro et que cette surface doit être par conséquent dans un état de désagrégation constante, à moins que le pouvoir conducteur de

---

(1) Voyez aussi : M. Haid de Fend, *Sur la marche des glaciers du Rosenthal et de Vernagt, en Tyrol* (*Bull.*, 2e sér., vol. II, p. 81. 1844). Au mois d'août, ils s'avançaient de 3 pieds viennois par jour, tandis que celui de l'Aar ne marchait que de 8 pouces ou $0^m,212$.

(2) *On the motion*, etc. Sur le mouvement des glaciers (*Transac. phil. Soc. of Cambridge*, vol. VIII, part. I, p 50. 1844).

Digitized by Google

la glace ne soit beaucoup plus grand que celui des matières qui forment la croûte du globe.

Dans un troisième mémoire, M. Hopkins (1) trouve encore qu'aucune théorie reposant sur l'une des quatre hypothèses proposées n'est réellement admissible, et qu'en outre ces théories, même celle de la viscosité de la glace, sont en contradiction avec l'observation directe. Il traite aussi, au point de vue mécanique, de la cause et de la formation des fissures, qu'il ne pense pas pouvoir être attribuées à des tensions ou à des pressions extérieures produisant, comme effet immédiat, un nombre presque infini de fissures parallèles dans lesquelles l'eau introduite forme, lorsqu'elle est gelée, des bandes de glace bleue.

Relativement à la différence que M. Agassiz avait trouvée pour la progression des diverses parties du glacier de l'Aar, comparée à celle que M. J.-D. Forbes a constatée pour la Mer de Glace, ce dernier fait remarquer (2) que l'on pouvait s'attendre à des différences semblables vu la grande diversité des circonstances et des positions, et qu'elle confirme sa théorie, qui peut seule les expliquer. Il résulte, en outre, de mesures précises, que la marche du glacier de l'Aar est uniforme et continue et qu'elle n'a pas lieu par saccades ni par secousses, comme on l'avait supposé; enfin, que le mouvement se manifeste aussi pendant l'hiver, quoique dans une moindre proportion.

La théorie de la plasticité de la glace a été adoptée par M. Whewell (3), et combattue vivement par M. Hopkins (4) et par M. R. Mallet (5). Nous ne pouvons entrer ici dans cette discussion à laquelle M. J.-D. Forbes (6) a dû prendre une part fort active;

. . . .

(1) *Transac. phil. Soc. of Cambridge*, vol. VIII, part. II, p. 159. 1844.

(2) *Bibl. univ. de Genève*, vol. LVI, p. 134. 1845. — *Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXXVIII, p. 332. 1845.

(3) *Bibl. univ. de Genève*, vol. LVI, p. 364. 1845. — *London, Edinb. and Dub. philos. Magaz.*, 3e sér. vol. XXVI, p. 171, 217 et 431.

(4) *Bibl. univ. de Genève*, vol. LVII, p. 177 et 362. — *London, Edinb. and Dub. philos. Magaz. nat. History* vol. XXVI, p. 1, février-avril 1845. — *Ibid.*, p. 146, 237, 328, 334 et 593.

(5) *Transac. geol. Soc. of Dublin*, 1838. — *London, Edinb. etc., philos. Magaz.*, vol. XXVI, p. 586. 1845.

(6) *London and, etc., philos. Magaz.*, 3e sér., vol. XXVI, p. 404. 1845.

Digitized by Google

aussi nous bornons-nous à indiquer à cet égard les diverses lettres qui ont été publiées par les journaux scientifiques (1).

Ainsi, malgré les nombreux travaux exécutés par plusieurs savants d'un grand mérite, pour déterminer le mouvement des glaciers, nous sommes obligé de reconnaître que les seuls points sur lesquels on soit d'accord, et qui paraissent définitivement acquis à la science, sont la réalité même de ce mouvement et une plus grande vitesse au centre que sur les bords; mais la loi de ce mouvement dans le sens de la longueur du glacier et dans celui de son épaisseur, ainsi que la cause elle-même de la progression, sont encore l'objet des opinions les plus contradictoires. Ces dernières se rattachent, soit à l'action de la pesanteur favorisée par la fonte de la partie inférieure, soit à la dilatation déterminée par la congélation de l'eau dans les fissures, soit à la plasticité de la masse, soit enfin à la désintégration de ses diverses parties.

De l'extension et du retrait des glaciers; de leur température et de leur abaissement superficiel.

A une époque très reculée, les glaciers des Alpes, dit M. Godeffroy (2), descendaient et se prolongeaient bien au-delà de leur plus grande croissance périodique actuelle, comme semblent le prouver les anciennes moraines que l'on voit dans la plupart des vallées; mais d'un autre côté, dans toute la partie centrale et la plus élevée de la chaîne, les neiges et les glaces continuent à s'accumuler lentement dans les plus hautes vallées, entre 2,000 et 2,300 mètres d'altitude : elles ont rendu impraticables ces vallées qui conduisent aux passages et aux cols, et elles ont envahi de hauts pâturages d'été. Ainsi, le col du Géant, celui de la Fenêtre, celui entre Zermatt et Evolenaz, le col de la Dent-Blanche, etc., ne peuvent être traversés depuis le moyen âge (3). L'auteur cherche à expliquer ces phénomènes contradictoires en supposant que l'accumulation des masses détritiques ou moraines dans les gorges et les vallées s'oppose à la descente des glaciers ou ralentit leur marche, et l'augmentation des glaciers supérieurs ne serait plus que le résultat de ce ralentissement; ils gagneraient ainsi vers le haut ce qu'ils perdent par le bas, et de plus ils auraient aussi gagné en largeur une partie de ce qu'ils ont perdu en longueur. M. Godeffroy pense

(1) Voyez aussi : W. Sutcliffe, *Idées relatives à la théorie du mouvement des glaciers* (*Philos. Magaz.*, vol. XXVI, p. 495. 1845).

(2) *Notice sur les glaciers*, etc. p. 54. 1840.

(3) Venetz, *Essai sur la température des Alpes*, 1821. — *Denkschriften der allg. Schweizerischen*, etc., vol. I, p. 1-18. Zurich, 1823.

Digitized by Google

en outre que l'abaissement des neiges éternelles n'est pas nécessairement la conséquence d'un abaissement de température. La fonte étant en raison inverse de la masse, il suffit que celle-ci augmente pour que la quantité annuelle mise en fusion par une même quantité de chaleur diminue. Or, cette diminution dans la fonte résulte d'une plus grande accumulation de neige dans le haut, et cette ligne doit descendre jusqu'à ce que la chaleur croissante vienne anéantir ces masses.

Parmi les causes de diminution des glaciers, de Saussure avait indiqué la fusion, soit du fond, soit de la surface, l'évaporation et les vents; mais d'après M. Rendu (1), ces causes seraient toutes insuffisantes et même souvent nulles. Le changement de la neige en glace se produit : 1° par la pluie qui tombe sur la neige; 2° par les vapeurs qui se condensent à la surface de la neige; 3° par le ramollissement des neiges dû à l'action solaire; 4° enfin, par la pression, qui produirait encore plus d'effet que tout le reste. Les avalanches et la pression exercée sur les couches inférieures par les supérieures tendent à faire descendre les neiges et les glaces des *glaciers réservoirs*, et à empêcher leur accroissement indéfini.

En rappelant ce principe, que le pouvoir de fusion de l'eau est 16 fois plus grand que celui de l'air sec, M. Rendu l'a appliqué à l'avancement et au retrait des *glaciers d'écoulement*, et il est arrivé à cette conclusion que nous avons vue admise aussi plus tard par M. Forbes, savoir : qu'un été pluvieux et humide, si toutefois les pluies sont chaudes, doit diminuer la masse du glacier d'écoulement bien plus vite qu'un été chaud et sec. La forme de ces glaciers, dit-il, est semblable à celle des eaux d'un fleuve. Leur renflement vers le milieu est dû à la fonte de la glace, qui est plus rapide sur les côtés, où elle est favorisée par l'écoulement des eaux. La disposition des arêtes de glace, à la surface du glacier des Bois, résulte de crevasses et de la fonte qui se trouvent en rapport avec la direction du glacier relativement aux rayons du soleil. Ainsi le glacier des Bossons, orienté différemment, ne présente point d'arêtes, mais des pyramides et des obélisques de glace.

Par suite des expériences faites avec M. A. Bravais, aux mois de juillet et d'août 1841, pour constater l'abaissement superficiel ou l'*ablation* du glacier au pied du Faulhorn, abaissement occasionné

(1) *Théorie des glaciers de la Savoie*, p. 101. 1840.

par la fusion et l'évaporation de la glace, M. Ch. Martins (1) a trouvé qu'il avait été de 1m,540 dans l'espace de 41 jours, du 26 juillet au 4 septembre. La température moyenne était de 4°,60. La fusion diurne avait été de 37 millimètres. M. Toussaint de Charpentier (2) avait aussi indiqué un résultat analogue. MM. Martins et Bravais ont entrepris, en outre, des expériences comparatives sur la fusion de la glace et de la neige, au moyen de piquets, et ils ont reconnu que la fusion moyenne diurne de la neige était de 30mm,8, tandis que celle de la glace était de 38mm,1. L'année suivante, M. Bravais, en poursuivant ces recherches, a trouvé que le niveau absolu du glacier ne change point lorsqu'il est recouvert d'une couche de neige, et que la vieille neige fond moins rapidement que la glace. Dans une autre circonstance, M. Agassiz (3) a signalé un abaissement moyen diurne de 77mm,3, à une élévation égale à celle du glacier du Faulhorn. M. Desor (4) a fait connaître en outre que, dans l'intérieur du glacier, le thermomètre s'était abaissé à — 2°,1, résultat qui confirmerait l'opinion de M. Élie de Beaumont, qu'il y existait un *magasin de froid* hivernal, mais qui serait contraire à ce que nous avons dit (*antè*, p. 241) : qu'un thermométrographe laissé tout l'hiver dans un glacier, à 8 mètres de profondeur, n'avait accusé qu'un abaissement de 0°,3.

Du 26 juin au 17 septembre 1842, M. J.-D. Forbes (5) a constaté que la surface de la Mer de Glace s'était abaissée de 24 pieds 6 pouces (7m,45), effet qui ne résultait pas d'ailleurs exclusivement de la destruction de la partie superficielle ; car la glace peut s'affaisser, si le glacier est excavé en dessous, soit par l'action des courants inférieurs, de la fusion de la glace au contact du sol, soit par toute autre cause.

---

(1) *Bull.*, vol. XIV, p. 133. — *Ann. des sc. géol.*, vol. I, 825. — *Soc. philom.*, 3 déc. 1842. — *L'Institut*, id. — Voyez aussi : *Nouvelles observations sur le glacier du Faulhorn, et réponse aux critiques de M. J.-D. Forbes* (*Bibl. univ. de Genève*, vol. LVI, p. 323. 1845. — *Bull.*, 2e sér., vol. II, 20 janvier 1845).

(2) Schweiger's. *Journ. chem. und phys.*, vol. LXVII, p. 249. 1838.

(3) *Comp. rend.*, vol. XV, p. 737. 1842. — Voyez aussi : Martins, *Nouvelles observations sur le glacier du Faulhorn* (*Bull.*, 2e sér., vol. II, p. 223. 1845.

(4) *Comp. rend.*, vol. XIX, p. 1299. 1844.

(5) *Travels through the Alps*, etc. Voyage dans les Alpes. 1843. — Voyez aussi : *Remarques sur les nouvelles observations sur le glacier du Faulhorn de M. Martins*, par M. J.-D. Forbes (*Bibl. univ. de Genève*, vol. LVIII, p. 142. 1845).

Digitized by Google

Il s'est attaché, en outre, à faire voir que les piquets employés dans le même but par M. Escher de la Linth pouvaient donner des indications fausses, et que la méthode géométrique à laquelle M. Martins avait eu recours devait aussi faire confondre plusieurs résultats en un seul. Quant à lui, il pense que l'abaissement de la surface n'est dû que pour un tiers à la fonte de la glace. Dans quelques cas exceptionnels, il a observé une dépression totale de 1 pied (0,3047) par jour. Il n'y a pas, dit M. Forbes, la moindre raison pour admettre qu'aucun progrès, soit de congélation, soit tout autre, aide le glacier à se renouveler pendant l'été ; et quant à la comparaison d'un glacier à une pâte en fermentation, s'étendant et se soulevant pour suppléer à la fonte superficielle, elle est, ajoute-t-il, contraire à l'évidence et à ses expériences. Comme, en outre, le gonflement ou la dilatation verticale de la masse résulterait nécessairement de la théorie qui assigne le mouvement du glacier à l'eau gelée dans les fissures, le fait, qu'aucune dilatation semblable ne s'observe dans la saison où le mouvement est le plus rapide, prouve assez que ce mouvement de progression du glacier ne peut être attribué à la dilatation.

Des aiguilles.

Les aiguilles ne s'observent que vers la partie moyenne et surtout inférieure des vallées, là où la glace est le plus compacte, et elles sont occasionnées par des fentes en divers sens qui déterminent des masses prismatiques, irrégulières, atténuées vers le haut par suite de l'évaporation et de la fonte (1).

M. Agassiz (2), recherchant quel pouvait être l'âge du plus ancien glacier de la Suisse, a compté d'abord le nombre des couches superposées qui formaient celui du Lauter-Aar, en admettant une couche par an (quelquefois il y en a deux) ; puis il a estimé le mouvement annuel à 81 mètres dans un cas, et à 77 dans un autre, et il a été conduit à admettre qu'en moins de deux siècles toute la masse de glace et de neige dont se compose le glacier de l'Aar, l'un des plus considérables de la Suisse, se sera écoulée avec ses affluents, et aura été remplacée par les neiges qui tomberont d'ici là dans la partie supérieure de la vallée de l'Hasli. Celui d'Aletsch, le plus grand de la Suisse, doit mettre trois ou quatre siècles à s'écouler et à se renouveler entièrement.

Effets et produits des glaciers ; des *ta-*

Les divers effets des glaciers ont été souvent décrits par les anciens observateurs, et il y aurait eu peu à ajouter à une étude fort

(1) Agassiz, *Études sur les glaciers.*
(2) *Comp. rend.*, vol. XVI, p. 678. 1843.

Digitized by Google

simple en elle-même, si l'on n'y avait cru trouver certaines analogies avec des produits antérieurs à notre époque et auxquels on a récemment attribué une origine semblable à celle des moraines actuelles. Les idées de M. Venetz et celles de M. de Charpentier (1) à ce sujet ont beaucoup contribué à diriger les recherches dans cette nouvelle voie, et nous verrons plus tard avec quelle sorte d'enthousiasme on les y a suivis.

bles et des moraines. Surfaces polies, striées et moutonnées.

Les plus gros fragments de roches détachés des montagnes environnantes par les agents atmosphériques, et tombant sur les glaciers, protégent contre l'action du soleil, des pluies ou des vents chauds, la partie qui les supporte, tandis que la glace fond alentour. Ils restent ainsi isolés sur une sorte de piédestal, qui ne tarde pas à disparaître lui-même; c'est ce que l'on nomme les *tables des glaciers* (2). Quant aux blocs et aux fragments épars à la surface du glacier, ils marchent avec lui, arrivent sur ses bords, s'y accumulent et forment des amas en talus appelés *moraines*. Ces moraines sont *latérales*, c'est-à-dire déposées le long du glacier, parallèlement à ses flancs; *terminales* ou bordant son extrémité inférieure et ordinairement semi-circulaire; et enfin *médianes* ou constituant de longues traînées vers le milieu de la surface du glacier. Ces dernières résultent de la réunion des moraines latérales de deux glaciers qui descendent par deux gorges différentes et qui viennent se joindre dans une même vallée. Mais les deux glaciers ne se confondent point pour cela; ils conservent chacun leur marche et leur vitesse propre, et restent séparés par leurs moraines latérales qui se touchent de manière à n'en plus former qu'une. Les moraines longitudinales diffèrent des détritus de glaciers remaniés ou entraînés par les eaux, parce qu'elles sont disposées en forme de digue avec un double talus dont l'un est tourné vers le glacier et l'autre vers le flanc de la vallée. Leur continuité et leur parallélisme à la même hauteur les fait distinguer facilement des débris déposés par les courants au fond des vallées (3).

Examinant ensuite l'action des glaciers sur le sol qu'ils parcourent, M. Agassiz fait remarquer que les fragments de roches

---

(1) *Notice sur les causes probables du transport des blocs erratiques* (*Ann. des mines*, vol. VIII. 1835).

(2) Agassiz, *Note sur les glaciers* (*Bull.*, vol. IX, p. 443. 1838).

(3) *On glaciers and the evidence*, etc. Sur les glaciers et sur l'évidence qu'ils ont existé autrefois en Irlande, en Écosse et en Angleterre (*Proceed. geol. Soc. of London*, vol. III, p. 328. 1840).

Digitized by Google

qui s'y trouvent sont ou broyés et pulvérisés, ou bien arrivent, sous forme de galets arrondis, à la partie inférieure, où ils constituent d'ordinaire la base sur laquelle repose l'extrémité du glacier et la moraine terminale elle-même. En outre, par suite de son mouvement, la glace use et polit le fond sur lequel elle se meut, arrondit les angles et les grandes inégalités du sol, donne à celui-ci une surface mamelonnée ou *moutonnée*, comme on le voit sous le glacier de l'Aar et dans les vallées du Rhône et de Chamouny, ou bien encore creuse des sillons de 0,02 jusqu'à 0,32 de large, dirigés dans le sens du mouvement (1).

Les parties triturées les plus dures, telles que les cristaux de quartz, rayent ces surfaces polies qui se trouvent ainsi couvertes d'une multitude de stries rectilignes plus ou moins fines et parallèles entre elles. Ces stries, indépendantes de la structure de la roche, suivent toujours la direction que les formes du terrain ont dû imprimer aux glaces. Constamment tranchantes et fraîches sous les glaciers actuels, elles sont moins distinctes sur les surfaces depuis longtemps exposées à l'atmosphère par la fonte des glaces, et leur origine ne peut pas plus être attribuée aux avalanches qu'à des eaux torrentielles (2). Dans la vallée de Viesch, la direction des stries est N., S. ou vers le Rhône. Celles qui accompagnent le glacier du Rhône sont E., O. Au-dessous du glacier de l'Aar, elles courent d'abord de l'O. à l'E. jusqu'à l'hospice du Grimsel, et ensuite du S. au N. du Grimsel à la Handeck. Les stries divergent au débouché des vallées; elles sont obliques et jamais horizontales sur les flancs, ce que M. Agassiz attribue à l'expansion de la glace vers le haut et au mouvement descendant du glacier. Les roches striées les plus remarquables sont près de Handeck et de la cascade de Pisse-Vache.

Les caractères des surfaces polies varient avec la nature des roches. Ainsi, dans la vallée de Zermatt et de Riffelhorn, les serpentines sont parfaitement polies, de même que les granites sur les côtés du glacier de l'Aar. Le gneiss et le calcaire ne conservent

---

(1) Voyez, pour les roches polies et moutonnées du Lauter-Aar, du Finster-Aar, du Grimsel, etc., une lettre de M. Desor (*Acad. des sciences*, 14 mars 1842), des observations de M. Élie de Beaumont (*Ibid.*, et *Ann. des sc. géol.*, vol. I, p. 262. 1842).

(2) Agassiz, *On polished and striated surfaces*, etc. Sur les surfaces polies et striées des roches qui forment le lit des glaciers dans les Alpes (*Proceed. geol. Soc. of London*, vol. III, p. 321. 1840).

Digitized by Google

pas leur poli lorsqu'ils ont été longtemps à l'air, mais ils ne le perdent point s'ils sont couverts par la glace ou par la terre. On avait objecté, dit M. Forbes (1), que la glace ne pouvait sillonner le quartz, mais elle n'est, pour ainsi dire, que la monture des fragments de pierres plus dures qui arrondissent, sillonnent, polissent et rayent la surface sur laquelle ils se meuvent. Le gravier, le sable et la boue impalpable sont l'émeril du glacier, et des effets plus ou moins semblables se produisent sur les roches qui encaissent celui-ci comme sur celles qui le supportent. Enfin, les sillons ondulés, sinueux (*karrenfelder*), se fondent souvent les uns dans les autres et sont attribués à l'érosion des eaux qui circulent sous les glaciers. La nature de la roche sur laquelle ceux-ci se meuvent fait d'ailleurs varier les effets dont nous venons de parler (2).

En avant des glaciers et de leur moraine terminale, on remarque souvent, dit encore M. Agassiz, des moraines concentriques à celle-ci et qui ne sont que les témoins de l'ancienne extension du glacier ; ce dernier, en se retirant ou en remontant, a laissé ces preuves de son développement antérieur. C'est ainsi que de l'extrémité du glacier des Bois ou de la Mer de Glace on peut compter 7 moraines concentriques jusqu'au village de Tines, bâti sur la dernière et la plus grande d'entre elles, qui est élevée de 65 mètres.

M. Godeffroy (3) a émis sur les moraines des opinions qui paraissent peu fondées et qui n'ont été partagées, à ce qu'il nous semble, par aucun autre observateur. Ce seraient, suivant lui, les éléments du dépôt de transport ou diluvien des hautes vallées, que les glaciers déplacent sur leur passage et relèvent sur leurs bords.

M. Rendu (4) a remarqué que dans l'amas incohérent, placé en avant du glacier, là où il se termine, les divers fragments qui le constituent ne proviennent pas toujours des roches des montagnes qui bordent le glacier ni de celles sur lesquelles il repose, mais que leurs analogues se retrouvent vers l'origine même du glacier. Après avoir rappelé la manière dont se détruit journellement le glacier dans la belle saison, vers le point le plus bas de sa course, et la réunion dans les hautes vallées de plusieurs glaciers en un seul, il y a nécessité de

(1) *Travels trough the Alps*, etc., p. 47.
(2) Voyez aussi : Escher de la Linth (*Bull.*, 2ᵉ sér., vol. III, p. 231. 1846).
(3) *Notice sur les glaciers*. Paris, 1840.
(4) *Théorie des glaciers de la Savoie*. 1840.

Digitized by Google

conclure, dit-il, que les glaciers inférieurs sont des fleuves solides qui prennent leur source dans les régions glaciales et qui viennent dans les régions tempérées se changer en fleuves liquides. Il démontre ensuite le peu de vraisemblance des idées de M. Venetz et de M. Godeffroy sur l'origine des moraines, et ajoute que les blocs qui constituent ces dernières, loin d'être arrondis, comme quelques personnes l'avaient avancé, sont tous anguleux et souvent même à arêtes vives. Ceux qui ont été roulés par les eaux sont à la vérité arrondis et plus ou moins polis, mais il est toujours facile de les distinguer des autres.

Dans son *Essai sur les glaciers* (1), M. de Charpentier a aussi traité des moraines. Il nomme moraine *frontale* celle qui se trouve au pied du glacier ; *latérales*, celles qui longent les bords des deux côtés, et *superficielles*, celles qui sont sur le glacier même. Les *bandes* sont des moraines ordinaires, peu considérables, ou des traînées de débris plus ou moins espacées. Les moraines ne présentent point de stratification ; leur forme varie suivant la disposition du sol et la marche du glacier. Tous les débris qui les constituent sont entassés pêle-mêle et sans ordre relativement à leur volume. Les fragments sont ou anguleux ou plus ou moins arrondis.

Alluvions glaciaires.

L'auteur nomme *alluvion glaciaire* l'accumulation des débris de roches charriés par les glaciers, et qui, au lieu de s'amasser sur un sol sec, tombent dans des réservoirs d'eau occasionnés par un glacier qui forme barrage, ou par d'anciennes moraines. Ces dépôts présentent des alternances de débris roulés, arrondis, charriés par l'eau des torrents, avec d'autres qui, étant transportés par les glaciers, sont anguleux et bien conservés. Les alluvions glaciaires sont les dépôts stratifiés de ce genre, dûs à des glaciers qui existent encore, tandis que le *diluvium glaciaire* comprend ceux dont les glaciers ont disparu depuis longtemps. Parmi les accumulations les plus considérables, M. de Charpentier cite la Gouille de Valsoray, le lac de Morel, celui de Gorner, celui de l'Eau-Froide au Simplon, etc. Les lacs retenus par d'anciennes moraines sont ceux de Matmark dans la vallée de Saas, de Campé et de Combal. Enfin, il y a au pied des glaciers des dépôts de transport plus ou moins stratifiés, produits par les torrents qui s'échappent de ces masses de glace. Ils entraînent les débris de roches que charrient

(1) In-8. Lauzanne, 1841.

Digitized by Google

les glaciers et les déposent au loin (glaciers de Gorner, d'Argentière, des Bois, etc.).

M. de Charpentier fait encore observer (p. 101) que les sillons ondulés, formés sur le lit des glaciers par les eaux qui découlent des crevasses, n'ont lieu que dans les calcaires compactes, à pâte fine et homogène, sur lesquels l'eau agit comme dissolvant. On n'en voit jamais, dit-il, sur les roches cristallines, les schistes quartzeux micacés, talqueux, etc. Ces sortes de canaux qui ont de 3 à 7 mètres de profondeur, sur une largeur qui varie de quelques centimètres à $1^{m},30$, sont formés plutôt par voie de dissolution que par voie mécanique. Sillons.

Un autre effet particulier observé dans les glaciers est celui des pierres qui, de l'intérieur de la masse glacée, semblent, au bout d'un certain temps, remonter à la surface. M. Agassiz (1) l'attribue à trois causes, l'évaporation, la fonte et la transformation en glace compacte de l'eau résultant de la fonte. Les deux premières causes sont négatives et contribuent seulement à diminuer l'épaisseur de la couche de glace, la troisième seule est positive en ce qu'elle aide à soulever le bloc. Cette explication s'accorde avec celle qu'a donnée M. Rendu (2), mais ce dernier fait voir en outre que les blocs et les cailloux plus ou moins engagés dans la glace, et qui ont l'air d'être poussés à la surface, ne prennent cette position que par la fonte même du glacier, et ils se trouvent ainsi successivement dégagés. Or, la surface fond d'autant plus qu'elle se rapproche davantage de l'extrémité inférieure du glacier, et un rocher qui se trouverait placé à une certaine profondeur vers le haut de celui-ci reparaîtra souvent à la surface avant d'avoir atteint sa limite inférieure. Pierres reparaissant à la surface.

M. de Charpentier (3) admet, conformément à l'opinion de son frère M. Toussaint et à celle qu'avait exprimée M. Venetz, dès 1816, que les corps étrangers ensevelis dans la glace reviennent à la surface par suite de l'expansion combinée avec l'effet de la fonte superficielle. Il ne regarde point l'explication donnée par M. Agassiz comme satisfaisante; elle serait même inutile, suivant lui, en ce qu'elle s'appliquerait à un fait imaginaire, les névés ne rejetant pas les blocs qui y sont ensevelis, et la glace

(1) *Études sur les glaciers*, p. 107.
(2) *Théorie des glaciers de la Savoie*. 1840.
(3) *Essai sur les glaciers*. 1841.

Digitized by Google

compacte ayant seule cette propriété. Ce n'est pas d'ailleurs à cause de la nature incohérente des hauts névés que les blocs n'y remontent pas, mais parce que les neiges annuelles n'y fondent jamais complétement.

Les veinules de sable, et les petites couches de débris provenant d'éboulements tombés sur les hauts névés, et qui sont ensevelis ensuite, reparaissent bientôt après à la surface comme les blocs. M. Martins (1) pense que c'est à la ligne de jonction des glaciers supérieurs avec les inférieurs que les blocs se montrent à la surface; au-dessus de cette ligne ils sont enterrés dans la glace.

Quoique la plupart des effets de frottement, produits par le mouvement des glaciers et des corps étrangers qu'ils renferment, aient été contestés par M. Necker dans le 1er volume de ses *Etudes dans les Alpes*, la généralité des observations à cet égard ne permet pas de douter de leur réalité.

La grotte ou entrée que l'on observe quelquefois au pied des glaciers, et qui sert d'issue aux torrents qui s'échappent de dessous, présente une voûte surmontée et encadrée par des arceaux de glace concentriques. Ceux-ci sont séparés par des fissures et offrent l'aspect d'une fausse stratification.

Entonnoirs. On remarque encore, quoique rarement, dans les glaciers, des enfoncements en forme de puits ou d'entonnoirs, formés par la réunion de filets d'eau et de gravier. M. Agassiz (2), qui cite particulièrement ceux du glacier de la Porte-Blanche au Mont-Rose, en a observé qui ont plus de 10 mètres de diamètre et dans lesquels s'engouffrent pendant l'été de véritables torrents. Ces cavités paraissent d'ailleurs varier d'une année à l'autre. M. Rendu, dans sa *Théorie des glaciers de la Savoie*, a cherché à rendre compte de leur origine par un mouvement de circulation de l'eau, mais son explication nous a paru laisser encore quelque incertitude.

Neiges rouges. L'action des corps organisés sur la glace a été traitée d'une manière tellement étrange, pour ne pas dire plus, par M. Hugi, qui fait *désoxyder la glace* et *décomposer le glacier* par les insectes tombés à sa surface, que M. de Charpentier a dû s'occuper aussi de cette question, d'ailleurs fort simple. La *neige rouge* ne fait point partie des glaciers, d'après M. Schuttleworth (3). Elle paraît être

---

(1) *Bull.*, vol. XII, p. 125. — *Id.*, vol. XIV, p. 133. 1843. — *Ann. des sc. géol.*, vol. I, p. 825. 1842.

(2) *Études sur les glaciers*, p. 54.

(3) *Bibl. univ. de Genève*, fév. 1840.

Digitized by Google

composée d'infusoires et d'algues. Les premiers appartiennent au genre *Astasia* (*A. nivalis*), d'autres au groupe des Volvociens, à celui des Monades, etc.; les seconds aux *Protococcus* (*P. nivalis*), *Hematococcus* (*H. nivalis*). Il y aurait en outre, suivant M. Agassiz (1), des Rotifères, et les *Protococcus nivalis* ne seraient que des œufs d'infusoires.

Enfin, pour terminer ce qui se rapporte aux glaciers des Alpes, nous conclurons, avec M. Desor (2), qu'ils ne sont pas un simple phénomène de climatologie, mais que leurs formes, leur étendue et le niveau auquel ils descendent dépendent essentiellement de la configuration du sol et en particulier de la forme des vallées. Ces dernières, dans les grands glaciers, s'élargissent de bas en haut, où elles présentent un vaste cirque dans lequel s'accumulent la neige et les névés qui passent ensuite à l'état de glace.

Glaciers des terres arctiques.

Les grands glaciers du sud de l'Islande, dit M. Eug. Robert (3), qui descendent des Jökulls, s'étendent sur une largeur de 6 à 7 lieues, et sont séparés de la mer par une large moraine terminale formée de cailloux. On les nomme *Svinafells-Jökull*. Ils sont hérissés, vers leur base, d'aiguilles devenues quelquefois entièrement noires par les cendres volcaniques dont elles sont couvertes, et sur d'autres points de leur immense surface on trouve une grande quantité d'entonnoirs par où s'engouffrent les eaux supérieures, qui reparaissent ensuite plus loin.

Dans ses *Observations sur les glaciers du Spitzberg comparés à ceux de la Suisse et de la Norwège* (4), M. Ch. Martins a fait voir que, les montagnes du Spitzberg étant relativement peu élevées, les vallées qui les séparent ont peu de longueur, et que les glaciers y sont proportionnellement plus larges que ceux de la Suisse. Dans ce dernier pays ils s'arrêtent à 1,230 mètres d'altitude, en Norwège, par 60° lat., les glaciers du Justedal descendent à 485 mètres, et ceux du Sulitelma à 876 en moyenne; en Islande, sous le 64e degré, ils s'avancent au bord de la mer.

L'auteur distinguant en *glaciers supérieurs* ou *mers de glace* ceux qui ne descendent pas au-dessous des neiges perpétuelles, et

(1) *Études sur les glaciers.*
(2) *Comp. rend.*, vol. XX, p. 883. 1845.
(3) *Voyage en Islande et au Groënland*, etc., p. 243.
(4) *Bull.*, vol. XI, p. 282. 1840. — *Bibl. univ. de Genève*, juillet 1840.

Digitized by Google

en *glaciers inférieurs* ceux qui s'abaissent plus bas que cette limite, en conclut qu'au Spitzberg, où la limite des neiges perpétuelles se trouve au niveau de la mer, il n'y a que des mers de glace ou glaciers supérieurs. En Suisse, la limite des mers de glace serait, d'après M. Hugi, à 2,470 mètres, c'est-à-dire à peu près celle des neiges. L'inclinaison des glaciers est moindre au Spitzberg qu'en Suisse. Ainsi celle du glacier terminal de Magdalena-Bay est d'environ 10°, et en Suisse elle atteint de 30 à 40°. Le glacier des Bossons présente une différence de 3,795 mètres entre ses deux extrémités. La surface des glaciers du Spitzberg est ordinairement plane et ne présente que très rarement quelques aiguilles ou pyramides. La glace est rugueuse, inégale et semblable à celle des glaciers supérieurs de la Suisse. Les glaciers fondent à peine, et au bord de la mer les crevasses sont transverses et parallèles au rivage. Des blocs considérables de roche sont enchâssés dans les parois latérales du glacier et l'on en observe aussi à l'extrémité inférieure, mais il n'y en a pas au milieu. Ces glaciers sont flanqués de moraines latérales peu élevées en général, et toujours en contact immédiat avec eux. Il n'y a point d'ailleurs de moraines terminales, parce qu'il n'y a point de blocs au milieu du glacier.

Relativement aux blocs eux-mêmes, M. Martins résume ses observations de la manière suivante (p. 288) : « 1° Il existe des » blocs à la surface et dans l'intérieur des glaciers du Spitzberg; » 2° les blocs de la surface gisent toujours sur les parties latérales » du glacier ; ceux qui sont engagés dans la glace se montrent sur » toute la hauteur des parois latérales; 3° je n'ai jamais vu de blocs » au milieu de la surface du glacier ni dans le mur vertical qui fait » face à la mer ; 4° tout me porte à croire que la plupart des blocs » sont rejetés sur les côtés et forment les moraines latérales qui » accompagnent les glaciers ; 5° dans les deux voyages de l'expédi» tion on n'a jamais vu de blocs transportés par des glaces flottantes, » mais par le travers de Bell-Sound, un peu avant d'entrer dans la » baie, mon collègue, M. E. Robert, a observé des glaces flottantes » tellement souillées de terre à leur surface qu'on les prit un instant » pour des écueils. »

La partie des glaciers du Spitzberg qui regarde la mer forme toujours un mur vertical dont la hauteur varie entre 30 et 120 mètres. En Suisse, les glaciers inférieurs ont de 10 à 25 mètres d'épaisseur, et les supérieurs de 40 à 60, ce qui montre une nouvelle analogie entre ces mers de glaces et celles du Spitzberg.

Digitized by

M. Martins établit ensuite, par un grand nombre de preuves, que dans ce dernier pays, et contrairement à l'assertion d'autres voyageurs, les glaciers situés au fond des baies ne s'arrêtent pas au bord du rivage, mais qu'ils s'avancent dans la mer, et que, sans glisser sur le fond de celle-ci, ils la surplombent, de sorte que leur face inférieure est en contact avec la surface de l'eau.

La cause du mouvement des glaciers du Spitzberg ne semble pas devoir être attribuée à la fusion de la face inférieure qui repose sur le sol, car cette fusion n'a pas lieu, mais à la dilatation de l'eau qui gèle dans les crevasses et à l'élargissement de celles-ci. Au milieu de l'été, le sol est gelé à 1 mètre de profondeur, et la surface n'est réchauffée que par l'action directe du soleil qui est nulle sous les glaciers. Nous avons vu que, d'après M. G. Bischof, ceux-ci ne fondent pas lorsque la température moyenne du sol sous-jacent est à zéro. Dans les Alpes cette température serait à 2,002 mètres d'altitude, et à 468 mètres au-dessous de la ligne de séparation des glaciers inférieurs et supérieurs. La fonte des glaciers suisses serait due en grande partie aux sources qui jaillissent de dessous leur lit, et qui deviennent des ruisseaux souvent considérables, en faisant fondre la glace qui se trouve en contact avec elles; théorie qui expliquerait d'une autre manière, dit M. Martins, pourquoi les glaciers du Spitzberg ne donnent pas naissance à des ruisseaux, car personne n'a jamais observé de sources dans cette île.

« Le poids des glaces, continue-t-il, doit nécessairement entraîner les glaciers vers la partie la plus déclive, et il agit avec » d'autant plus d'avantage que, pendant l'été, rien ne s'oppose à la » progression de leur partie inférieure. La congélation de l'eau dans » les crevasses est encore une force d'une grande puissance (1). »

Une certaine configuration du sol (2) est toujours nécessaire pour la formation d'un glacier, et il n'en existe point dans les plaines ouvertes où la neige ne se convertit pas en glace. C'est ainsi qu'il n'y a point de glacier sur l'île Cherry (Baeren-Eiland), parce qu'elle n'offre pas de vallées; c'est une montagne entourée d'un plateau. Le glacier d'Aletsch, près du lac Morill et avant de passer le Simplon, peut donner une idée très exacte des glaciers du Spitzberg.

---

(1) Voyez: Gilbert, *Note accompagnant le mémoire de Biselx* (*Ann. de chim. et de phys.*, vol. LXIV).

(2) Ch. Martins, *Bull.*, vol XII, p. 125. 1841.

Digitized by Google

M. Eugène Robert (1), qui a fait aussi partie de l'expédition du Nord, a présenté quelques observations opposées à celles que nous venons de rapporter. Il pense que depuis longtemps les glaciers du Spitzberg sont à peu près stationnaires. La mer, tous les étés, vient battre la base de ces grands dépôts de neige glacée, les excave, et détermine, comme dans les falaises de craie, des éboulements verticaux. Quant aux moraines, elles sont plutôt, comme en Islande, des torrents de boue placés et se mouvant sur les deux côtés des glaciers, que de véritables moraines analogues à celles de la Suisse; et l'eau, bien loin de se congeler en coin pour faire avancer le glacier, reste parfaitement limpide au fond des crevasses d'où elle s'échappe en nombreux filets.

Les glaciers du Spitzberg ne subissent guère de changements que dans leurs couches supérieures (p. 301). La plus inférieure, adhérente au sol, peut être considérée comme une nouvelle et véritable roche superposée à l'ancienne. Au lieu de marcher parallèlement ou de glisser sur le sol comme ceux de la Suisse, les glaciers du Spitzberg ne s'éboulent que dans leurs couches les plus élevées, où de nouvelles neiges ne tardent pas à remplir les vides accidentels qui se sont formés. « C'est ainsi que dans la partie » du Spitzberg où la mer ne vient pas annuellement dégrader ces » grands dépôts de neige et de glace, ou bien les enlever au fur et à » mesure qu'ils se forment, on les voit affecter la disposition de » véritables montagnes; tels sont les Sept-Sœurs sur la côte occi- » dentale de cette île. » M. Robert fait remarquer aussi que quant à leur couleur et à leur structure intime, les glaces du Spitzberg diffèrent assez notablement de celles de la Suisse.

MM. Martins et Robert sont revenus plus tard sur ce sujet (2), et plus récemment encore le dernier de ces voyageurs (3) a insisté sur l'existence d'une moraine terminale placée à l'extrémité du glacier de la pointe du Renard et que M. Martins regarde comme une moraine latérale. D'après celui-ci, les glaciers du Spitzberg n'auraient point de moraine terminale et ne peuvent en avoir, d'abord

---

(1) *Bull.*, vol. XI, p. 298. 1840. — *Id.*, vol. XIII, p. 27. 1842. — *Voyage en Laponie et en Scandinavie*, etc., p. 153. — Voyez aussi, pour les glaciers de l'Islande : *Voyage en Islande et au Groënland*, par M. E. Robert, p. 233-237.

(2) *Bull.*, vol. XIV, p. 564. 1843. — *Ibid.*, p. 565.

(3) *Ibid.*, 2ᵉ sér., vol. I, p. 54. 1843.

Digitized by Google

parce que la longueur de l'escarpement qui les limite du côté de la mer est beaucoup trop grande, et ensuite parce qu'ils n'ont pas de moraine médiane formée par la réunion des moraines latérales des glaciers secondaires. Ce serait au fond de la mer qu'il faudrait chercher ces moraines terminales, si elles existaient; or, au pied des escarpements de la glace, la profondeur a été trouvée de 60 à 110 mètres.

M. J. Durocher (1), à la suite de son voyage à bord de la corvette *la Recherche*, a décrit aussi les glaciers qu'il a observés au Spitzberg. Ces glaciers ne paraissent pas s'élever à plus de 400 à 500 mètres au-dessus de la mer; plus haut il n'y a que des neiges qui ne fondent pas et qui ne passent point à l'état de névé ni à celui de glace. Cette transformation, qui d'ailleurs est toujours imparfaite, n'a lieu que dans les parties basses où la température permet un commencement de fusion dans certains mois de l'année. L'augmentation des glaciers paraît se faire d'abord à l'intérieur par la solidification de l'eau qui les pénètre, et à l'extérieur par la transformation en névé, puis en glace, de la couche de neige tombée à la surface et qui fond partiellement en été.

Ce géologue n'admet pas, comme M. Martins, qu'il y ait communication des glaciers qui bordent la côte avec ceux de l'intérieur de l'île, où ils ne peuvent pas exister suivant lui, parce que le plateau qui le constitue atteint une élévation de 1,000 à 1,200 mètres, élévation à laquelle les neiges, sous cette latitude, ne se changent plus en glaces. Comme nous l'avons déjà dit, la forme et la structure des glaciers de ces terres arctiques sont plus simples que dans les Alpes, et leur surface plane n'est interrompue que par des crevasses transverses parallèles au rivage. La largeur de ces dernières varie de 4 à 12 mètres sur une profondeur de 25 à 30 et une longueur qui va jusqu'à 100 mètres. L'auteur les attribue à la pesanteur du glacier qui se meut sur un plan incliné, et à l'inégalité de la dilatation de la masse, lorsque la surface atteint une température voisine de zéro et que celle du centre est encore à — 10° ou — 15°.

Le mouvement est dû à la même cause que dans les Alpes, mais M. Durocher ne croit pas, ainsi que quelques voyageurs l'ont

---

(1) *Mémoire sur la limite des neiges perpétuelles, sur les glaciers du Spitzberg comparés à ceux des Alpes*, etc. Partie de Géographie physique du voyage de *la Recherche*, p. 84. 1845.

prétendu, qu'un glacier prenne un grand développement lorsqu'il vient à déboucher dans une plaine ouverte ; il paraît, au contraire, conserver à peu près sa largeur primitive, et ce que l'on a dit de l'avancement de l'extrémité au-dessus de la mer lui semble aussi fort exagéré. Cette saillie est toujours très faible, et les fissures transverses ne permettent pas qu'il en soit autrement. Au Groënland et dans la baie de Baffin, ils s'avancent un peu plus parce qu'ils se trouvent dans des circonstances plus favorables, telles que des baies étroites et profondes, abritées des vents et des courants.

Les moraines, ainsi qu'on l'a déjà vu, ont beaucoup moins d'importance que celles des glaciers Alpins, et sont aussi beaucoup moins variées. Les roches des montagnes soumises à des causes de destruction très énergiques offrent sur leurs pentes des talus d'éboulement composés d'énormes amas de blocs entassés. Ceux qui roulent des sommets restent ensevelis sous la neige et sont enveloppés ensuite dans la masse du glacier lors des fontes partielles. Les moraines latérales sont très peu développées, et il en est de même des moraines médianes et superficielles. La façade des glaciers et les parois des fentes montrent une teinte plus ou moins foncée, variant du vert émeraude au vert bleuâtre et plus ou moins vive suivant les circonstances atmosphériques. La présence de l'eau dans les pores de la glace paraît donner à la teinte bleue plus de vivacité, tandis que celle de l'air ou l'état tout à fait compacte lui communique une teinte grise ou gris vert (1).

Dans les régions polaires arctiques, d'après des détails recueillis par l'expédition scientifique anglaise (2), la glace est d'une pureté parfaite et sans trace de sel. Lorsqu'elle fond, sa surface est criblée de cavités aplaties, égales, de même forme et contiguës. La structure de cette glace présenterait trois séries de cellules, dont deux traversent la masse dans la même direction, et la troisième coupe les précédentes à angle droit. Les cellules sont différentes dans chaque série. L'une de ces séries a des cellules globulaires, uniformes et contenant un noyau ou globule de fluide particulier, l'autre a des cellules allongées et paraissant aussi contenir de petits globules; enfin la troisième, qui coupe les précédentes à angle droit,

(1) Voyez aussi : F.-J. Hugi, *Ueber das Wesen*, etc. De l'essence des glaciers et des glaces hivernales de la mer Glaciale. Stuttgard, 1842.

(2) Extrait du *Litterary gazette* (*L'Institut*, 12 nov. 1845, p. 399).

Digitized by Google

a ses cellules extrêmement petites, disposées par bandes ondulées. Ces observations paraissent d'ailleurs mériter confirmation, et nous attendons, pour en juger, les développements qui seront, sans doute, donnés ultérieurement à leur égard.

Il s'en faut beaucoup que les glaciers des terres australes aient été étudiés comme ceux de l'hémisphère Nord. On trouve dans les récits des voyages récents des capitaines J. Ross, Wilkes et de Dumont d'Urville, quelques descriptions pittoresques des grands bancs de glace ou *banquises* qui défendent et entourent, comme un rempart gigantesque, les terres glacées, découpées et encore si peu connues d'Adélie, de Victoria, d'Enderby, de Graham, de Palmer et de Louis-Philippe. Nous savons seulement que dans la Georgie du Sud, la terre de Kerguelen et l'archipel de Sandwich (55° à 60° lat. S.), la glace atteint les bords de la mer. La température des étés et celle des hivers y sont peu différentes, et les glaciers sont presque sans mouvement comme ceux des Alpes en hiver. Deux causes paraissent y arrêter l'accumulation indéfinie des neiges : l'évaporation sans fusion proprement dite, et la descente des glaciers par leur propre poids (1). Dans le golfe de Penas, à la Terre-de-Feu, les glaciers, d'après M. Darwin (2), atteindraient le niveau de la mer par 46° 40′ lat. S., c'est-à-dire à 20 degrés plus loin du pôle que dans l'hémisphère Nord; l'auteur supposant qu'ils descendent à ce niveau à Kunnen, en Norwège, par 67° lat., limite qui nous paraît douteuse, au moins pour le continent, car en Islande, nous venons de voir qu'ils avançaient en effet jusqu'au bord de la mer.

Glaciers des terres antarctiques.

Dans ses *Recherches sur les glaciers, les glaces flottantes, et l'influence des climats sur la distribution géographique de la limite inférieure des neiges perpétuelles*, M. Grange (3) s'est occupé des circonstances les plus favorables à la formation des glaciers, surtout dans les régions polaires, et il a fait voir que les climats insulaires et littoraux, par leur température moyenne plus élevée et leurs températures extrêmes beaucoup plus rapprochées que dans l'intérieur des continents, permettaient une plus grande extension des glaciers. « Si nous remontons vers les pôles, dit-il

(1) Lyell, *On the geol. evidence*, etc. Sur l'évidence géologique de l'ancienne existence des glaciers (*Proceed. geol. Soc. of London* vol. III, p. 337. 1840).
(2) *Journal et remarques*, etc., p. 280. 1839.
(3) *Bull.*, 2e sér., vol. III, p. 280. 1846.

Digitized by Google

» (p. 286), chaque ligne de latitude qui nous en rapproche le plus » ne sera pas celle sur laquelle nous trouverons le plus grand dé- » veloppement des glaciers ; ce sera sur la ligne climatologique in- » sulaire, dont la température oscillera entre 0 et 5°, que nous » aurons les conditions les plus favorables à la formation et à » l'extension des glaciers, et c'est précisément à ces conditions ther- » mométriques et hygrométriques des côtes du continent antarc- » tique que l'on doit rapporter l'immense développement que pré- » sentent sur ces terres les glaciers et les banquises, et non point » à une différence dans la température moyenne de l'hémisphère » Sud ; car on ne peut établir entre les deux hémisphères que des » différences dans la distribution relative de la chaleur. »

Appendice bibliographique.

R. Mallet. — *On the mechanism of glaciers* (*Transac. geol. Soc. of Dublin.* 1838.)

Engelhardt. — *Sur la formation des moraines* (*Soc. d'hist. nat. de Strasbourg*, 1er avril 1834. — *L'Institut*, 24 mai 1834).

Agassiz. — *Untersuchungen uber die Gletscher.* Recherches sur les glaciers, in-8. Soleure 1841. 32 pl. in-fol. — Voyez aussi : *Neu. Jahrb.*, 1842, p. 313-317.

Favre. — *Lettre sur une rectification de l'opinion de M. Agassiz* (*Bibl. univ. de Genève*, vol. XXXII, p. 193. 1841).

Auteurs divers. — *On the glaciers*, etc. Sur les glaciers en général, leurs caractères, leur formation, leurs effets, etc. (*The geologist*, n° 1, p. 1, janvier 1842).

— Voyez *Verh. d. Schweitzer naturf. ges.* Zurich, 1841, 1842, p. 69, 226, 247, 248, 249.

Studer. — Voyez *Neu. Jahrb.*, 1843, p. 192-198, 304-306.

— *Sur l'origine des glaciers* (*Ibid.*, 1841, p. 677).

Guyot. — *Sur la structure intérieure des glaciers et la limite sud des blocs scandinaves* (*Verh. d. Schweitzer naturf. ges. zu*, Altdorf, 1842, p. 199-202).

G. H. — *Wanderungen in der Gletscher-Welt.* Excursion dans le monde des glaciers, in-8, 4 pl. Zurich, 1843.

P. Mérian — *Sur la théorie des glaciers* (*Neu. Jahrb.*, 1843, p. 413).

Après avoir traité des neiges et des glaces perpétuelles, l'auteur s'occupe des faits historiques relatifs aux glaciers, puis de la théorie de leur mouvement par la dilatation de l'eau congelée et par la pesanteur ; cette dernière, due à de Saussure, est adoptée par M. Mérian, qui termine sa note par quelques mots sur les idées de M. J.-D. Forbes.

E. Desor. — *Observations sur le mémoire précédent* (*Ibid.*, p. 691-697. 1844).

Digitized by Google

AGASSIZ. — *Critique des observations de M. J.-D. Forbes sur les glaciers* (*Neu. Jahrb.*, 1843, p. 86-87).

E. DESOR. — *Journal d'une course faite aux glaciers du Mont-Rose et du Mont-Cervin* avec MM. Studer, Agassiz, Lardy et Nicolet (*Bibl. univ. de Genève*, vol. XXVII, p. 128, 336)

VENETZ. — *Sur l'état actuel et ancien des glaciers du Valais et sur les blocs erratiques alpins qui se trouvent depuis le dos des Alpes jusqu'au Jura, et principalement dans les vallées de toutes les hautes chaînes, à l'exception de celles des régions équatoriales et de celles où les neiges perpétuelles ne peuvent pas se convertir en glace* (*Mittheilung aus d. Gebrete d. theoretisch Erdkunde*, par Froebel et Heer, vol. I, p. 482. — *Neu. Jahrb.*, 1837, p. 472-473).

J. HUGI. — *Uber das Wesen der Gletscher*, etc. Sur la nature des glaciers, et voyage hivernal à la mer de glace, in-8. Stuttgard, 1842.

— *Die Gletscher und die erratischen Blocke.* Les glaciers et les blocs erratiques, in-8. Stuttgard, 1842.

C. VOGT. — *Critique des ouvrages précédents* (*Neu. Jahrb.*, 1843, p. 178-188).

J. HUGI. — *Réponse à la critique précédente* (*Neu. Jahrb.*, 1843, p. 590-594).

MORITZI. — *Critique des idées de M. Agassiz.* Soleure, 1843.

DE HAUSLAB. — *Observations sur les glaciers* (*Bull. de la Soc. géol*, 2e sér., vol. I, p. 160). L'auteur, sans entrer dans l'examen de la théorie des glaciers, s'attache à démontrer que beaucoup de particularités observées récemment étaient connues depuis longtemps, et avaient même, dans le Tyrol, des dénominations populaires.

MAX. BRAUN. — *Sur les glaciers des Pyrénées, leur ancienne étendue et les anciennes moraines* (*Neu. Jahrb.*, 1843, p. 80-83).

RUSSEGGER. — *Puissance du glacier du Sormenblick, à Rauris* (*Neu. Jahrb.*, 1835, p. 522). Cette épaisseur dépasse 100 mètr.

GEBLER. — *Glaciers sur le mont Bjeloucha* (Mont-Blanc) *et dans la vallée de Katunj ou des Chalets, dans l'Altaï* (*Taschenb. de Leonhard*, vol. I, p. 199. 1845.)

LADAME. — *Observations sur le passage de la neige farineuse à la neige grenue, et de celle-ci à la glace compacte, suivies d'applications à la théorie des glaciers* (*Bull. de la Soc. des sc. nat. de Neuchâtel*, appendice. 1846).

CH. MARTINS. — *De l'ancienne extension des glaciers de Chamouny, depuis le Mont-Blanc jusqu'au Jura* (*Revue des deux mondes*, vol. XVII, 1er mars 1847). L'auteur y a exposé d'une manière on ne peut plus simple et plus claire les principaux phénomènes que présentent les glaciers actuels.

E. DESOR. — *Nouvelle excursion et séjour dans les Alpes et les hautes régions de ces montagnes, par M. Agassiz, avec un aperçu sur la structure géologique des Alpes, par M. Studer*, 2 pl., in-12. 1845.

Digitized by Google

STOTTER. — *Die Gletscher des Vernagt thales*, etc. Les glaciers de la vallée de Vernagt, en Tyrol, in-fol., avec carte du Rosenthal. 1845.

KOLENATI. — *Die Gletscher der Kasbek*, etc. Les glaciers du Kasbek, dans le Caucase, in-fol. (*Bull. Acad. des sc. St-Pétersbourg*, vol. IV, p. 168. — *Ann. de Poggendorff*, vol. VI, p. 553. 1845. — *Erman's Arch.*, etc., vol. V, p. 248, avec carte et vue. 1846).

L. AGASSIZ. — *Système glaciaire, ou Recherches sur les glaciers*, etc., par MM. L. Agassiz, A. Guyot et E. Desor. Ire partie, *Nouvelles études et expériences sur les glaciers actuels*, in-8, avec atlas in-fol. Paris, 1847.

HENRI LECOQ. — *Des glaciers et des climats, ou des causes atmosphériques en géologie*, 1 vol. in-8. Paris, Strasbourg, 1847.

§ 3. **Glaces flottantes.**

M. Bayfield (1) a constaté que, sur les lacs du Canada, aussi bien que sur le fleuve Saint-Laurent, des fragments de roches plus ou moins considérables, et en plus ou moins grande quantité, étaient transportés par les glaces à l'époque des débâcles.

Au retour d'une expédition scientifique dont il faisait partie, M. Couthouy (2) a rendu compte à l'Association des géologues américains, des nombreuses observations qu'il avait eu l'occasion de faire sur les montagnes de glaces flottantes. D'après les mouvements oscillatoires et giratoires auxquels il les a toujours vues soumises, il conclut que l'on ne peut attribuer à de semblables masses les stries et les sillons indiqués sur tant de points à la surface des roches continentales; mais il croit que, dans certains cas, l'échouement et le brisement de ces masses de glace peut avoir produit les trous ou cavités (*pot-holes*) signalés dans le dépôt de transport (*drift*) de la Nouvelle-Angleterre et d'autres localités.

Un rapport plus important par le nombre des documents qu'il renferme est celui qu'a fait M. J. Hayes, *Sur l'influence probable des montagnes sur le dépôt de transport* (*drift*) (3). C'est le résultat de renseignements fournis par plus de 80 personnes attachées à la pêche de la baleine dans les mers du Nord et du Sud, et dont l'auteur déduit les conclusions suivantes : 1° Ce qui se passe

(1) *Proceed. geol. Soc. of London*, vol. II, p. 223. 1836.
(2) *Third ann. Meet.*, etc. Troisième réunion annuelle des géologues américains (*Amer. Journ.*, vol. XLIII, p. 151. 1842).
(3) *Amer. Journ.*, vol. XLV, p. 316. 1843.

Digitized by Google

actuellement dans les mers polaires permet de penser que des montagnes de glace, renfermant des fragments de roche dans leur partie inférieure, ont pu presser le sable et le gravier sur le fond de l'ancien Océan, sillonner, strier les roches par leurs aspérités et laisser sur leur surface polie des rainures et des stries dirigées vers le Sud ; 2° les grandes dimensions des montagnes de glace et leur action mécanique, lorsqu'elle est déterminée par de puissants courants, ont pu former, sur les anciens fonds de la mer, des accumulations analogues aux moraines des glaciers ; 3° le temps pendant lequel ces montagnes ont pu rester échouées ou qu'elles ont mis à être entraînées par des courants rapides qui les enveloppaient peut-être de sable et de boue, ou qui enlevaient ces matériaux meubles, laissant des monticules ou des banquettes aux endroits protégés par des masses de glace échouées, porte à croire que ces diverses circonstances ont pu contribuer à la disposition actuelle du dépôt de transport ; 4° la formation des glaciers sur les côtes est telle que des fragments de roche et les détritus des terres sur lesquelles ils reposaient s'y trouvent engagés. La progression constante de ces glaciers, leur séparation du sol et leur flottage comme montagne de glace, supportant ainsi de la terre et des roches, peuvent faire penser que des masses semblables, séparées des côtes des mers anciennes, ont été des agents puissants du transport des roches loin de leur origine ; 5° une grande partie des fragments détachés des glaciers sont de petites dimensions, et ils sont fondus ou brisés à une faible distance du glacier d'où ils proviennent, ce qui porte à admettre que des causes analogues ont dû limiter le transport des blocs ou des plus gros fragments du diluvium à une distance peu considérable aussi des roches d'où ils provenaient.

Ces conclusions de M. Hayes, sur lesquelles nous reviendrons lorsque nous traiterons des dépôts diluviens, ont été déduites des observations qui suivent. Dans les deux hémisphères, les îles de glace flottantes sont des fragments détachés des glaciers polaires qui, sur les côtes des terres arctiques et antarctiques, suivent les mêmes lois et présentent les mêmes caractères généraux que les glaciers des Alpes. Ils sont également formés par l'accumulation annuelle des neiges. Des blocs de roche et de la terre se trouvent à leur surface et à l'intérieur. Quelquefois ces glaciers, jonchés de blocs transportés d'une grande distance, sont recouverts par une nouvelle accumulation de neige et de glace. De grands blocs de

roche ont été observés dans la muraille verticale du glacier qui regarde la mer. On a vu quelquefois des glaciers couverts de sable et de scories volcaniques. Ces glaciers s'avancent dans la mer, comme ceux des Alpes dans les vallées, et la chute d'une portion avancée produit dans l'eau une vague énorme. On a observé de ces masses de glace détachées qui avaient 65 mètres de hauteur sur une longueur de 2 à 15 milles. Leur mouvement est très lent, constant, et dans la direction du grand courant sous-marin qui va des pôles à l'équateur.

On n'a remarqué d'ailleurs aucun mouvement de rotation ni aucun mouvement particulier aux glaces flottantes, si ce n'est celui du renversement de la masse. Ces montagnes s'appuient souvent à de grandes profondeurs sur le fond de la mer et peuvent rester ainsi plusieurs années. La limite du transport des glaces est au 40° lat. N. et au 36° lat. S.; quant au transport des blocs et des petits fragments, il y en a rarement sur les montagnes de glace, si ce n'est près de leur origine.

M. Peter Dobson (1) a publié une lettre relative aux glaces polaires actuelles et à leurs effets présumés, comparés à ceux qu'il a observés sur les flancs des montagnes du comté de Vernon. M. W.-C. Redfield, dans son mémoire sur le *drift* et les courants du nord de l'Atlantique, travail accompagné d'une carte où se trouve indiquée la position des montagnes de glaces flottantes à diverses époques de l'année (2), a rassemblé les indications de 157 rencontres de glaces flottantes dans les parages de Terre-Neuve: mais rien n'y constate le transport des blocs ou du gravier sur ces radeaux glacés. Ce mémoire, qui peut être consulté avec intérêt, traite aussi de la tendance des glaces polaires à se porter à l'O. par suite du mouvement de la terre, et de leur influence sur le *Gulf-stream*.

Les glaces paraissent amenées par un courant qui, partant du Groënland et de la mer Polaire, vient aboutir au Gulf-stream, à l'est du banc de Terre-Neuve, vers 44° lat., et entre 44° et 47° de longitude. Ce courant marche vers le S.-O. Sa température au mois de mai est de 4°,8 à 6°,6 R., tandis qu'un peu à l'O. l'eau est à 13° ou 13°,7 R. Un autre courant venant de la côte du Labrador

(1) *Amer. Journ.*, vol. XLVI, p. 169. 1843.
(2) *Ibid.*, vol. XLVIII, p. 373. 1845.—*Bibl. univ. de Genève*, vol. LX, p. 165. 1845.

amène des glaces qui passent par le détroit de Belle-Ile, jusqu'à 300 milles de Québec. C'est à ce dernier qu'est due la basse température du fond du golfe St-Laurent en été. Ainsi, le 10 juillet, la température de la surface étant 12°,4 R., à 50 brasses, elle se trouvait être 0,8 R.; et plus au S., à Tadousac, l'eau de la mer, à la profondeur de 180 mètres, était à 1°,67 C. A la jonction du Gulf-stream, les glaces dévient vers l'E., mais quelques unes cependant le traversent malgré sa largeur, qui est, en moyenne, de 250 milles, et elles descendent au-delà de la limite méridionale de la Virginie.

M. E. Chevalier (1) rapporte qu'on avait trouvé sur les côtes des îles Shetland, qui sont entièrement basaltiques, des blocs très volumineux de pegmatite, de gneiss, etc., que l'on regardait comme apportés par des glaces flottantes détachées de la banquise australe, et charriées par le grand courant polaire qui porte au N.-E., et que, par conséquent, elles pouvaient provenir des terres australes cherchées depuis longtemps au sud-ouest des îles Shetland; or, cette conjecture a été réalisée d'une manière très remarquable par la découverte des terres Louis-Philippe et Graham, dont les roches apportées lors de l'expédition de l'*Astrolabe* et de la *Zélée* se trouvent être ces mêmes gneiss et pegmatites des blocs échoués sur les côtes des Shetland (2).

Le capitaine Ch. Wilkes (3), qui commandait l'expédition scientifique américaine au pôle antarctique, considère les glaces flottantes comme formées principalement par la congélation de l'humidité atmosphérique, et c'est pour cela qu'elles se composent toujours d'eau pure. Ainsi les parages glacés de la mer ne contribueraient point à en former. Après avoir décrit les différentes formes que ces glaces prennent en fondant, il fait connaître les moyens puissants mis en action par ces énormes glaçons pour le transport des roches ou des matières terreuses. Mais ne connaissant point encore l'ouvrage original de M. Wilkes, nous ne pouvons donner de plus amples détails sur ses observations à ce sujet.

(1) *Voyage autour du monde de la corvette* la Bonite. *Géologie et minéralogie*, p. 54. 1844.

(2) Voyez aussi : Vetch, *Icebergs and changes of geol. opinions* (*Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXXI, p. 56).

(3) *Assoc. des géol. et des natur. américains à Washington en* 1844. — *L'Institut*, 28 mai 1845.

Digitized by Google

CHAPITRE III.

PRODUITS INORGANIQUES LACUSTRES, FLUVIATILES OU D'EAU DOUCE.

§ 1. Dépôts des lacs d'eau douce.

De nombreux lacs d'eau douce ont été desséchés, depuis les temps historiques, dans les comtés de l'ouest de l'Angleterre, le North-Salop et le Cheshire ; leur emplacement, dit M. Murchison (1), est occupé par des vases, des graviers, des marais couverts de mousses et où se trouvent ensevelis de grands amas de bois. Le *Wild-Moors*, entre Wellington et Newport, est un de ces lacs marécageux dont le sol est aujourd'hui cultivé en partie. Angleterre.

Le plateau qui sépare la vallée de la Marne de celle du petit Morin (Aisne) et une portion de celui de la Brie paraissent avoir été occupés à une époque ancienne par un grand nombre d'étangs peu profonds, que les progrès de la culture ont fait disparaître au moyen de desséchements partiels. Depuis quelques années même, plusieurs de ceux des communes de Courboin et de Nesle ont été complétement cultivés. Les sédiments auxquels ils avaient donné lieu sont d'ailleurs tout à fait insignifiants, parce que ces petits bassins, situés sur des plateaux élevés, ne recevaient point d'alluvions apportées par des cours d'eau (2). France.

En 1713, le Kander ayant été détourné de son cours, pour que ses eaux se rendissent dans le lac de Thun au lieu de se réunir à l'Aar, a formé, à l'entrée du lac, un delta qui s'est accru constamment depuis 120 ans. Aujourd'hui, d'après W.-H. Egerton (3), ce delta présente une surface d'un mille de long sur un quart de mille en avant de l'ancien rivage. La profondeur du lit, au passage du Kander, est de 16 mètres, et la profondeur de l'eau dans la partie Suisse.

(1) *The silurian System*, etc. Le système silurien, etc., 2 vol. in-4, avec cartes, coupes et pl. de fossiles, vol. I, p. 558. Londres, 1839.

(2) D'Archiac, *Mém. de la Soc. géol. de France*, vol. V, p. 38. 1843.

(3) *On the delta of Kander*. Sur le delta du Kander (*Proceed. geol. Soc. of London*, vol. II, p. 76).

Digitized by Google

actuellement occupée par le delta était certainement plus considérable encore ; ainsi ce dépôt qui plonge sous les eaux avec une pente très prononcée aurait une épaisseur de plus de 16 mètres (1).

Sicile. M. G. Alessi, dans son discours à l'Académie gioénienne de Catane, en 1834 (2), a rappelé un mémoire de M. C. Gemellaro, dans lequel l'auteur conclut, de la comparaison du terrain qui entoure les deux petits lacs dans le bras du phare avec celui qui circonscrit le vaste port de Messine, qu'il y avait autrefois un lac dans l'emplacement que ce port occupe aujourd'hui. Ce dernier aurait été creusé de main d'homme à une époque très reculée, conclusion qui s'accorderait avec ce que Diodore de Sicile rapporte des travaux d'Orion.

Minerai des lacs et des marais. Irlande. On découvrit, en 1812, à l'est de Glander-Harbour, sur la côte méridionale du comté de Cork, un marais tourbeux imprégné de cuivre. On exploita 40 à 50 tonnes de cette tourbe, qui produisirent, après la combustion, une tonne de cendre cuprifère contenant 10 ou 15 pour 100 de cuivre, quantité suffisante pour couvrir les frais d'exploitation. Ce minerai provenait probablement, d'après l'opinion de M. T. Weaver (3), qui rapporte le fait, de la dissolution du cuivre contenu dans les terrains environnants, quoiqu'à la vérité on n'y ait encore reconnu que des minerais de fer et de manganèse avec du quartz et de la baryte.

Russie. Dans l'arrondissement minier d'Olonetz (4), on extrait le minerai destiné aux usines, de 14 lacs, dont le plus considérable, celui de Sound-Ozéro, a 13 kilomètres de long sur 4 à 5 de large. Ce minerai est un oxyde de fer hydraté avec une certaine quantité de silice et d'argile. Le manganèse et l'acide phosphorique s'y trouvent aussi fréquemment. Le fer est recueilli sous forme de petits galets plats, ou de grains ronds, réguliers, de la grosseur d'une tête d'épingle jusqu'à celle d'un œuf d'oie. Sa couleur est le brun noirâtre ou jaunâtre, et sa cassure feuilletée présente des couches concentriques. Les bancs de minerai ont de 44 millimètres à 18 cen-

(1) Voyez aussi : Studer, *Sur l'écoulement et la mise à sec du lac de Lungernsee, et les dépôts observés sur son fond* (*Neu. Jahrb.*, 1836, p. 699).

(2) *Actes de l'Acad. gioén. de Catane*, vol. III.

(3) *On the geol. relations*, etc. Sur les relations géologiques du sud de l'Irlande (*Transac. geol. Soc. of London*, vol. V, p. 27).

(4) *Description des usines de l'arrondissement minier d'Olonetz* (*Annuaire du journ. des mines de Russie*, vol. II, p. 236. 1835).

Digitized by Google

timètres et même 35 centimètres d'épaisseur dans les lacs vaseux. On les exploite au moyen de radeaux et avec des seaux emmanchés que l'on promène sur le fond. On retire ceux-ci remplis du minerai qui est immédiatement placé pour le lavage dans un crible de fer que l'on descend dans l'eau, et d'où on le remonte pour le mettre en tas sur le radeau. Deux hommes peuvent extraire de 1,000 à 6,500 kilogrammes de minerai par jour.

Les *minerais de marais* se trouvent, pour la plupart, aux environs du lac Onéga. Ils sont en couches recouvertes de gazon et d'un peu de terre d'alluvion. Leur épaisseur varie de $0^m,04$ à $0^m,71$. Ils renferment toujours une certaine quantité de terre et d'acide phosphorique. Leur exploitation fort simple consiste à enlever le gazon et à les détacher avec un pic de fer.

Les minerais des lacs, comme ceux des marais, paraissent résulter de la décomposition des pyrites de fer à une époque ancienne. La forme qu'ils affectent souvent ne permet pas de les regarder comme le produit d'un dépôt mécanique, et il y aurait peut-être lieu de croire à l'action d'une force attractive semblable à celle qui aurait aussi présidé à la formation des silex de la craie et d'autres produits analogues. Leur position, au-dessus du terrain de transport diluvien, doit en outre les faire regarder comme très récents; mais les observations directes n'ont pas confirmé ce que l'on avait prétendu de leur renouvellement.

Dans un second article sur le même sujet (1), nous voyons attribuer la formation de ces minerais : 1° à des sources minérales, que l'on n'a cependant pas encore observées directement; 2° à la décomposition des roches qui contiennent du fer combiné sous diverses formes avec leurs éléments constituants; 3° à des infusoires (*Gallionella ferruginea*), surtout pour les minerais de marais (2).

M. Russegger (3) a décrit le minerai de fer limoneux des savanes du Kordofan septentrional. Afrique.

Les dépôts dont nous nous occupons paraissent être plus développés dans certaines parties des États-Unis que partout ailleurs. Le Amérique du Nord.

(1) *Ibid.*, vol. V, p. 59.

(2) Ehrenberg, *Sur les infusoires du tripoli* (*Acad. des sciences*, juillet 1836. — *Ann. des mines*, 3ᵉ sér., vol. XI, p. 456. 1837).

(3) *Arch. fur min. de Karsten*, vol. II, p. 215-232. 1838. — Voyez aussi : A. Kindler, *Sur la formation de quelques minerais de fer* (*Ann. der physik*, 1836, n° 1 — *Bibl. univ. de Genève*, 2ᵉ sér., vol. IV, p. 180).

Digitized by Google

fer des marais, d'après M. Hitchcock (1), occupe une grande surface dans l'ouest du comté de Worchester (Massachussetts), et sa formation serait due à l'abondance des pyrites décomposées qui se trouvent dans le gneiss des environs. Une partie se change en oxyde de fer et une autre en sulfate. L'oxyde, se combinant avec une plus ou moins grande quantité d'acide carbonique de l'air, passerait à l'état de carbonate soluble dans l'eau. Entraîné par les pluies dans les dépressions du sol, l'eau qu'il y rencontre, contenant de l'acide carbonique, dissout ce composé, et le fer est transporté dans les étangs et les marais, où il se dépose par évaporation. L'oxyde de manganèse paraît se former aussi journellement par le même procédé.

Dans l'État de Rhode-Island, M. Ch. Jackson (2) cite, à 19 milles au sud de la ville de Providence, un lit de minerai de fer de marais de 40 mètres de long sur 20 de large et 1 d'épaisseur, qui donne à la fonte 34 p. 100 de fer. A 1 mille au sud-ouest, on en trouve un second plus considérable formé de minerai pulvérulent.

Dans l'État du Maine, le même géologue signale le fer des marais de l'île de Black (3). Ce minerai s'exploite sur les bords de la petite rivière d'Ossipee, dans le comté de Newfield, et se retrouve sur un grand nombre d'autres points (4). Il constitue des lits fort étendus cachés sous les marais. Le sédiment ferrugineux est transporté par les sources qui s'échappent des flancs des collines, et qui l'abandonnent dans les marais environnants, où les dépôts paraissent se former très rapidement.

Aux environs de Greenwood (p. 88), il y a des lits d'oxyde noir de manganèse placés immédiatement sous la terre végétale, à une profondeur de $0^{m},50$. Le minerai est en petits amas isolés, composés de nodules agglomérés et reposant sur une terre siliceuse blanche. Ce serait, d'après M. Jackson, un dépôt alluvial provenant de la décomposition des micaschistes manganésifères environnants.

M. W. Mather, dans son *Rapport sur le premier district géolo-*

(1) *Report on the geol.*, etc. Rapport sur la géologie, la minéralogie, etc., de l'État de Massachussetts, in-8. Amherst, 1833.

(2) *Report on the geol. survey*, etc. Rapport sur l'exploration géol. de l'État de Rhode-Island, in-8, p. 74. Providence, 1840.

(3) *First report*, etc. Premier rapport sur la géologie de l'État du Maine, p. 60. 1837.

(4) *Second report*, etc. Second rapport, etc., p. 78.

Digitized by Google

gique de l'État de New-York (1), signale le minerai de marais comme très fréquent à l'ouest et au nord de la région montagneuse, en descendant vers le fleuve Saint-Laurent, et surtout dans le comté de ce nom et dans ceux de Jefferson, de Franklin et de Clinton. Ces dépôts recouvrent le terrain tertiaire dans le comté de Franklin; dans celui de Saint-Laurent, ils reposent immédiatement sur les roches primitives; mais plus souvent ils se trouvent au fond des alluvions des ruisseaux et des rivières, et de plus, à des niveaux que n'atteignent plus les cours d'eau actuels. Les lits sont d'ailleurs peu étendus, et leur épaisseur est de $0^m,30$ à $0^m,60$.

M. Mather, dont l'opinion se rapproche beaucoup de celle de M. Hitchcock, croit que le minerai est déposé par l'eau, qui, en perdant l'acide carbonique qu'elle renferme, abandonne le fer qu'elle tenait en dissolution. La décomposition des roches ferrugineuses est une cause permanente qui donne lieu à des substances entraînées par les pluies. Par un excès d'acide carbonique, l'eau dissout l'oxyde et le carbonate de fer. L'altération des roches pyritifères produit aussi une grande quantité d'oxyde et de sulfate de fer dont la décomposition subséquente contribue également à la formation de ces dépôts modernes.

M. H.-D. Rogers (2) a décrit le fer de marais qui se dépose au fond des vallées du comté de Burlington (New-Jersey). Ce minerai est apporté par les eaux des sources, qui, après avoir passé à travers les couches ferrugineuses de la formation du sable vert, l'abandonnent dans ces dépressions du sol avec une certaine quantité de phosphate de fer. Le minerai se forme constamment par précipitation; mais si la surface venait à se dessécher, M. Rogers pense que l'oxyde de fer disparaîtrait, entraîné par les pluies, presque aussi vite qu'il s'est accumulé. Un laps de vingt années suffit pour reproduire, sur certains points, la couche de fer qui a été enlevée.

Sur la côte orientale du Maryland, les minerais de marais sont encore très répandus. Ils s'étendent dans une partie des comtés de Caroline, de Dorchester, de Sommerset et de Worchester. Ce fer, dit M. Ducatel (3), étant une formation journalière déposée par les

---

(1) *First annual report*, etc. Albany, 1837.

(2) *Descrip. of the geology*, etc. Description de la géologie de l'État de New-Jersey (*final report*), in-8, avec carte et coupes. Philadelphie, 1840.

(3) *Report on a projected*, etc. Rapport sur une exploration topogra-

Digitized by Google

eaux stagnantes, est en quelque sorte inépuisable. Il donne à la fonte 30 à 35 p. 100 de fer métallique.

M. Daubrée (1) s'est occupé récemment, mais d'une manière plus générale, de ces mêmes minerais. Après avoir énuméré les divers pays où on les a trouvés, il remarque qu'on les rencontre rarement à plus d'un mètre de profondeur, et que leur épaisseur ne dépasse pas non plus $0^m,60$ à 1 mètre. Les diverses hypothèses que l'on a faites à ce sujet ne lui paraissent pas suffisantes pour expliquer la formation de ces dépôts, et les conclusions auxquelles l'ont amené ses propres observations dans l'est de la France sont déduites d'un genre de considération dont ses prédécesseurs ne s'étaient pas occupés, à l'exception cependant de M. Kindler (2). Les végétaux à l'état de pourriture exercent, dit ce géologue, une action décolorante sur les argiles et les sables ferrugineux, et le fer est enlevé jusqu'à 5 centimètres de distance autour des racines. Cette cause aurait, d'après M. Daubrée, une grande part dans les résultats qu'on observe, et elle serait, sinon unique, du moins prédominante. Il s'est attaché à suivre la marche du phénomène dans les cours d'eau et dans les lacs, depuis la dissolution du fer dans l'eau par l'action des acides carbonique et crénique, jusqu'à son dépôt. Le test des infusoires siliceux vient s'ajouter à cette cause première, et il y a formation aussi de fer phosphaté, par suite de la combinaison de l'acide phosphorique qui se dégage des corps organisés en putréfaction. La formation des minerais associés à la tourbe exige, comme nous le ferons voir pour cette dernière, la présence d'une eau peu profonde qui se renouvelle sans cesse, mais très lentement. Ces dépôts ne sont pas d'ailleurs toujours à proximité des roches ferrifères d'où ils tirent leur origine.

Les tentatives que l'on a faites jusqu'à présent pour expliquer la formation des minerais des lacs et des marais nous paraissent laisser encore quelque incertitude, et plusieurs circonstances du phénomène ne semblent pas avoir été suffisamment étudiées ; ainsi, on ne sait pas pourquoi le minerai est tantôt compacte et en bancs, tantôt en grains plus ou moins gros et à structure concentrique ;

---

phique et géologique de l'État de Maryland (*Amer. journ.*, vol. XXVII, p. 1. 1834).

(1) *Comp. rend.*, vol. XX, p. 1775. 1845. — *Bull.*, vol. III, 2e sér., p. 145. 1846. — *Ann. des mines*, 4e série, vol. X. 1846.

(2) *Ann. der phys. und chem. de Poggendorff*, vol. XXXVII, p. 203.

quelles sont les roches qui contribuent particulièrement à fournir ses éléments par leur altération ; enfin cette altération elle-même n'a pas été suivie avec tout le soin nécessaire. Quant à l'opinion de M. Daubrée, qui semble se rattacher à celle de M. Berzélius (1), nous trouvons une observation de M. Eugène Robert (2) qui lui serait peu favorable ; car des racines mortes depuis longtemps et mises à découvert dans la tranchée des fortifications du bois de Boulogne avaient, au contraire, servi de conducteurs à des eaux chargées de fer ou de calcaire, et venant de la surface du sol ; de telle sorte, dit M. Robert, qu'elles sont converties, les unes en fer hydroxydé sablonneux, les autres en carbonate de chaux ; et lorsque en effet on peut observer dans un escarpement de vieilles racines mises en partie à découvert, on remarque une coloration ferrugineuse plus vive autour que dans les autres parties du sol où elles végètent.

§ 2. Dépôts des lacs salés et des mers intérieures.

Les lacs salés de la Crimée, dont on tire un grand produit, dit M. de Verneuil (3), sont d'anciens lais de la mer Noire. Le sel n'y cristallise pas tous les ans, sa précipitation dépendant de la chaleur des étés et de quelques autres causes qui ne sont pas toutes bien connues. Ces lacs sont surtout nombreux dans la partie basse de la Crimée, et ceux des environs d'Odessa présentent les mêmes caractères. On y trouve une espèce de *Cardium* qui vit aussi dans la mer Noire, mais dont les dimensions sont plus grandes. Crimée.

L'origine des lacs salés qui entourent la mer Caspienne a été l'objet de plusieurs publications dont nous allons nous occuper. M. Hommaire de Hell (4), qui, après avoir déjà étudié ce pays avec beaucoup de soin, y est retourné depuis, a décrit les lacs salés exploités dans le gouvernement d'Astrakhan comme ayant rarement plus de 3,000 à 4,000 mètres de tour. Ils sont tous circulaires ou elliptiques, et leur exploitation se fait après les pluies du printemps et celles de l'été. A chaque pluie, le sel contenu dans la vase se dissout, Asie occidentale. Bassin Aralo-Caspien.

(1) *Ann. der phys. und chem. de Poggendorff*, vol. XXXVII, p. 203.

(2) *Bull.*, vol. XII, p. 376. 1841.

(3) *Mémoire sur la géologie de la Crimée* (*Mém. de la Soc. géol. de France*, vol. III, p. 1. 1838).

(4) *Notice sur l'origine des lacs salés de la mer Caspienne* (*Bull.*, vol. XIV, p. 261. 1843).

Digitized by Google

et après l'évaporation il se trouve déposé, sur le lit desséché du lac, en plaques cristallisées que l'on enlève à la pelle. 32 lacs sont exploités de cette manière, et produisent annuellement 214,910,360 kilog. de sel. 97 autres lacs n'ont pas encore été utilisés. Aux environs de Kislar, dans le gouvernement du Caucase, sur 21 lacs, 18 sont exploités et produisent annuellement 15,230,000 kilog. de sel. Malgré ces exploitations, la quantité de sel ne paraît pas avoir diminué.

Ces lacs sont isolés ; aucune source ne jaillit sur leurs bords ni sur leur fond ; aucun ruisseau, aucun ravin n'y porte d'eau en aucun temps, et la quantité de leurs eaux dépend uniquement des variations atmosphériques : aussi M. H. de Hell les regarde-t-il comme des témoins de l'ancienne extension de la Caspienne. Sur une étendue de 150 lieues, on ne trouve qu'un sol limoneux, salé, des argiles sablonneuses, des lacs salés et des marais d'eau saumâtre.

Pour expliquer la quantité constante des produits salins de ces lacs, malgré les exploitations régulières auxquelles ils sont soumis déjà depuis un certain temps, l'auteur prend comme exemple le lac de Dapminskoï, dans le gouvernement d'Astrakhan. Après avoir calculé la surface du lac, sa capacité, la quantité d'eau salée qu'il a pu contenir et la quantité de sel dissoute dans cette eau, en admettant pour base la proportion de 5 p. 100 de matières salines, il trouve que ces eaux devaient contenir 31 milliards 400 millions de kilogrammes de sel, qui pourraient suffire à une exploitation de 1,800 ans comme celle qui a lieu aujourd'hui.

Nous verrons plus loin que M. G. Bianconi (1), par des considérations qui se rattachent à l'origine des salses, des sources de naphte, etc., regarde, au contraire, ces lacs salés comme alimentés dans leurs produits par un banc de sel que dissolvent incessamment les infiltrations des eaux pluviales ou de la mer. M. de Verneuil (2) pense aussi que le lac Elton et plusieurs autres des environs d'Orembourg, qui se trouvent placés sur les couches salifères du système permien, peuvent devoir leur salure à cette circonstance.

D'après M. Hommaire de Hell, l'eau de la Caspienne serait plus salée que celle de l'Océan, et l'ancienne étendue de cette mer intérieure serait un fait incontestable. Elle n'a diminué de surface qu'après sa séparation d'avec la mer Noire, alors que l'équilibre des

---

(1) *Storia naturale dei terreni ardenti*, etc. Histoire naturelle des terrains ardents, etc., in-8. Bologne, 1840.

(2) *Bull.*, vol. XIV, p. 266 et 391. 1843.

eaux enlevées par l'évaporation avec celles qu'apportent les fleuves s'est trouvé rompu.

Relativement à la plus grande salure de la Caspienne que suppose M. H. de Hell, M. Angelot (1) a rappelé que, d'après l'analyse que M. Rose (2) a donnée de ses eaux, la salure serait au contraire beaucoup moindre que celle des mers en général (3). M. H. Rose (4) a également fait connaître la composition de l'eau du lac Elton comparée à celle d'autres bassins, et il a trouvé qu'elle contenait 29,13 pour 100 de substances dégagées d'eau et résistant au feu. L'analyse a donné :

Chlorure de potassium.	0,23
— de sodium.	3,83
— de magnésium. . . .	19,75
Sulfate de magnésie.	5,32
Eau.	70,87
Total	100,00

Cette eau a donc la plus grande ressemblance avec celle de la mer Morte, qui contient 26,24 pour 100 de matières solides. L'eau du lac Ourmia, près de Tauris, en contient 22,3, et l'eau ordinaire de la mer 3,22 à 3,87. Celle du lac Elton n'est qu'une eau mère très concentrée, dans laquelle d'énormes masses de sel marin se sont déposées; elle est d'ailleurs semblable à l'eau de la mer et des salines.

M. de Champcourtois (5) a donné quelques détails sur la nature des eaux du lac de Van et sur le natron qu'on en retire. La super- Arménie.

(1) *Bull.*, vol. XIV, p. 366. 1843.

(2) *Ann. der phys. u. chem. de Poggendorff*, vol. XXXV, p. 185. 1835.

(3) Voyez aussi : Goebel, *Tableau de la composition de l'eau des principaux lacs et des eaux salées de la steppe des Kirghiz et de la Crimée* (*Reise in die steppen d. Sudlich Russland*, vol. II, p. 88). — *Recherches sur les efflorescences salines des steppes entre le Volga et l'Oural* (*Ibid.*, vol. II, p. 158). — *Analyse de l'eau de la mer Caspienne* (*Ibid.*, p. 98); et ci-après, quatrième partie, chapitre II, Kohl, la *Steppe de Bessarabie et les salines sur la côte de la mer Noire*, résumé d'un rapport de M. Daubeny (*Arch. f. miner. de Karsten*, vol. VI, p. 751-773. 1842).

(4) *Ann. de Poggendorff.* — *L'Institut*, 30 mars 1836. — *Bibl. univ. de Genève*, déc. 1835. — *Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXI, p. 80. 1836.

(5) *Comp. rend.*, vol. XXI, p. 1141. 1845.

Digitized by Google

ficie du lac est de 2,000 kilomètres carrés, et son niveau se trouverait à 1,100 mètres d'altitude. Il est fermé, au S., par la première chaîne du Kurdistan; à l'O., par la montagne de Nemrod, qui est un volcan éteint; et au N., par le mont Seupan, couvert de neiges éternelles. Les eaux du lac qui ne nourrissent point d'animaux et n'ont aucun écoulement au dehors, renferment du chlorure de sodium, du carbonate de soude, du sulfate de soude, du sulfate de potasse, de la magnésie et de la silice.

Dans le pays de Seisten, plateau de l'Iran, M. Conolly (1) a signalé un lac salé situé au milieu d'une plaine alluviale.

Asie mineure. Le lac salé de Kodj-Hissar, situé à 5 milles à l'ouest de la ville de ce nom, paraît avoir une certaine analogie avec les précédents. L'eau, dit M. W.-R. Hamilton (2), en est parfaitement saturée et les poissons ne peuvent y vivre. Si l'aile d'un oiseau vient à effleurer sa surface, elle se durcit immédiatement et pour toujours par l'incrustation saline qui la recouvre. Le lac a 30 lieues de circonférence; il est profond par places, et son fond est une boue sans consistance. Vers les bords et sur plusieurs points, une croûte épaisse et solide de sel recouvre la vase. On y remarque de plus des trous sans fond et d'autres par lesquels sortent des sources que l'auteur suppose être d'eau douce et semblables à celles qui existent dans les petites îles du lac.

M. Angelot, dans ses *Recherches sur l'origine du haut degré de salure des divers lacs placés dans le fond de grandes dépressions du sol des continents et en particulier de la mer Morte, suivies de considérations sur l'origine du sel gemme en couches* (3), a présenté d'abord un résumé aussi clair que précis des observations dont les mers intérieures ont été l'objet par rapport à leur niveau, puis il a mentionné tout ce qui est relatif aux petits bassins fermés du département des Bouches-du-Rhône, à ceux des lacs Amers de l'Égypte, à la grande dépression Aralo-Caspienne, et enfin à celle de la mer Morte.

En considérant l'énorme abaissement de cette dernière, que nous avons vu être de 419 mètres (de Bertou), ou 427 (Symonds), et la haute salure de ses eaux, M. Angelot pense que ces deux cir-

(1) *Ann. de Berghaus*, 1842, p. 22-36.

(2) *On the geology*, etc. Sur la géologie d'une partie de l'Asie-Mineure (*Transac. geol. Soc. of London*, vol. V, p. 588).

(3) *Bull.*, vol. XIV, p. 356. 1843.

Digitized by Google

constances peuvent être la conséquence l'une de l'autre, et que la seconde résulterait d'une concentration par évaporation d'une quantité d'eau de mer plus considérable que celle que le bassin reçoit de ses affluents. Cette opinion ne serait pas d'ailleurs contraire à la présence des masses de sel, que cite M. de Bertou, dans le voisinage de la mer Morte, et à la dissolution desquelles, lors des grandes pluies, ce voyageur attribue l'augmentation de matières salines entraînées dans son bassin. Ces masses se trouvant, en effet, bien au-dessous du niveau de la Méditerranée, et même à 100 mètres plus bas que le lac de Tibériade, et la quantité de sel augmentant à mesure qu'on s'avance vers le lac asphaltique, si le niveau de ce dernier s'est abaissé par l'évaporation d'une partie des eaux, le sel n'a dû commencer à se déposer que lorsqu'il était arrivé à un certain degré de concentration, et, vu la profondeur du bassin, cette concentration n'a pu être suffisante qu'après une grande réduction de la hauteur des eaux. Or, une couche d'eau de mer de 100 mètres seulement d'épaisseur suffirait pour produire un banc de sel égal à celui dont a parlé M. de Bertou.

Le lac de Tibériade ou de Génézareth, inférieur aussi à la Méditerranée (de 230^{m},3, de Bertou ; 174, Cailler, ou 165, Delcros), est, d'après M. de Pinteville, sensiblement salé, quoique l'eau en soit potable. L'eau du Jourdain, qui en sort, contient encore des principes salins, mais en très faible quantité; or, si la grande dépression qui comprend le lac de Tibériade et la mer Morte a été remplie autrefois par l'eau de la mer, le lac de Tibériade a dû être alors très salé. Les eaux qui s'y rendent, ainsi que le Jourdain qui le traverse, ont dû entraîner aussi avec le temps cet excès de salure, action qui se continue encore et qui tend à diminuer de plus en plus la quantité des sels qui se trouvaient primitivement dans le lac de Tibériade. Ces sels avaient d'ailleurs la même origine que ceux qui existent encore dans la mer Morte. « Enfin, dit M. Angelot, » n'y a-t-il pas, dans les terrains à sel du bassin de la mer Morte, » plus d'une analogie avec ceux du bassin des lacs Amers, dont l'o» rigine n'est pas douteuse? Ces bancs salins rompus, ces espèces » de glaçons brisés et déposés là comme par une débâcle, ces mon» ticules coniques de sels cristallisés de 2 ou 3 pieds de haut du bassin » des lacs Amers, n'ont-ils pas de grands rapports avec les blocs de » sel de 1 ou 2 mètres de hauteur indiqués par M. de Bertou, avec les » pyramides de sel dont ont parlé souvent d'autres voyageurs, et

Digitized by Google

» dont l'une paraît avoir été désignée longtemps sous le nom de *la* » *femme de Loth?* »

Le *Porites elongata*, recueilli sur la plage de la mer Morte par M. le marquis de l'Escalopier, et qui n'existe que dans la mer Rouge, fait penser à l'auteur, malgré les faits contraires que nous avons rapportés (*antè*, p. 205), qu'il y avait une relation directe entre la mer Rouge et la mer Morte. D'un autre côté, quelques coquilles rencontrées dans la première de ces mers, et qui sont abondantes dans la Méditerranée, indiqueraient une ancienne communication entre ces deux bassins, et par suite avec le lac asphaltique.

Sans prétendre que cette réunion n'ait pas eu lieu à l'époque tertiaire, nous ferons remarquer cependant que les raisonnements basés sur quelques analogies ou quelques différences organiques entre deux bassins n'auront réellement de force que lorsqu'on connaîtra d'une manière exacte la loi de distribution des animaux marins sur les divers points du globe. Les données que la science possède à cet égard, malgré l'importance que quelques personnes semblent portées à leur attribuer sont, en réalité, encore si incomplètes et si incertaines, comme nous le ferons voir plus loin en traitant de l'*habitat* des mollusques, que toute conclusion déduite du peu que l'on sait doit être regardée comme prématurée.

D'après M. Angelot, la mer Morte, le bassin Aralo-Caspien et les lacs Amers, sont d'anciennes dépressions reliées entre elles à une époque géologique qui n'est pas très reculée. La Caspienne, dit-il, la mer Noire, la Méditerranée, les lacs Amers, la mer Rouge et la mer Morte, ne formaient qu'une seule et même mer qui divisait probablement en trois continents distincts l'Europe, l'Asie et l'Afrique, aujourd'hui réunies ; et ces bassins, comme le lac Aral et le lac Balkhache, les lacs salés qui entourent la Caspienne, les lacs Natron, les étangs salés des Bouches-du-Rhône, etc., ne sont que d'anciens relais d'une mer qui recouvrait ce vaste espace, et non des affaissements du sol qu'ils occupent.

Avant d'aller plus loin, nous présenterons quelques réflexions sur l'hypothèse de M. Angelot, tout ingénieuse et même probable qu'elle puisse être à certains égards, ainsi que sur ses conclusions par rapport à la mer Morte. D'abord l'orographie et l'hydrographie, de même que les caractères géologiques de l'Asie occidentale, tels au moins que nous les connaissons, ne permettent pas d'admettre, même à l'époque tertiaire, une relation directe du bassin

Digitized by Google

Aralo-Caspien avec celui de la mer Morte et des lacs Amers; ce dernier se rattachait au grand bassin du Tigre et de l'Euphrate, mais était séparé du premier par un axe montagneux qui s'étend du Taurus, par l'Elburz de Perse, jusqu'aux montagnes du Caboul (1). Ensuite, si ces bassins, placés au-dessous du niveau de l'Océan actuel, sont des témoins de l'extension des mers anciennes, et si leur niveau inférieur résulte du manque d'équilibre entre les eaux affluentes et l'évaporation, on doit trouver sur leur pourtour des dépôts sédimentaires marins, d'autant plus élevés que leur isolement est plus ancien ou que la différence entre les eaux affluentes et la perte par évaporation est plus grande. Ces dépôts doivent avoir leurs analogues quelque part sur les côtes de la Méditerranée ou du golfe Arabique, et, en les suivant de part et d'autre avec attention, on doit retrouver les canaux ou détroits par lesquels ces bassins, isolés aujourd'hui, étaient en communication avec la mer. Or, ce genre d'observation, qui nous semble d'une importance majeure dans cette question, ne nous paraît pas avoir jusqu'à présent attiré l'attention des voyageurs. Enfin, s'il y a eu un moment où l'état de saturation de la mer Morte a facilité la formation des masses de sel qui sont sur ses bords, on ne voit pas pourquoi, aujourd'hui que son niveau est plus bas que ces masses, et que sa saturation devrait être encore plus grande, celle-ci n'est cependant pas suffisante pour produire le même effet; ou, en d'autres termes, pourquoi, aujourd'hui que le niveau est plus bas, la saturation se trouve moindre que lorsque les eaux étaient plus élevées, la cause d'affaiblissement de salure du lac de Tibériade n'existant pas pour la mer Morte ?

M. Dubois de Montpéreux avait considéré les lacs de Van et d'Ourmia comme des portions d'une ancienne mer ou de petites Méditerranées plus ou moins salées qui auraient été soulevées ainsi avec les montagnes de l'Arménie; mais M. Angelot fait remarquer avec raison que, sans admettre un résultat aussi merveilleux que celui de pareilles masses d'eau élevées, comme dans un vase, sans renverser, jusqu'à 1,000 et 1,200 mètres d'altitude, leur salure peut

(1) Voyez de Humboldt, *Asie centrale*, vol. I. — Boué, *Mém. à l'appui d'un essai de carte géol. du globe* (*Bull.*, 2e sér., vol. I, p. 296. 1844). — *Essai d'une carte géologique du globe*. 1844.— De Hauslab, *Illustrations graphiques des rapports entre l'orographie, l'hydrographie et la géologie du globe terrestre*. Vienne, 1844, pl. XVI à XXIII.

Digitized by Google

formée de sable mouvant et de petits coquillages. Les sels commun et amers se déposent dans les dépressions du sol voisines du rivage. Dans un des lacs de la partie nord, lequel n'a que 1 mètre de profondeur, on exploite une couche de sel de 0,18 d'épaisseur, et composée de cristaux cubiques réguliers, d'un rose pâle. La masse farineuse ou couche inférieure est quelquefois d'un pourpre foncé, et exhale une forte odeur de violette. La croûte de sel repose sur un limon noir. A quelque distance au sud, la surface d'un autre lac salin est couverte de glaubérite cristallisée en prismes rhomboïdaux à 4 pans aigus. Les cristaux cannelés, décomposés à l'air et entièrement vides, n'offrent plus que l'enveloppe de leur forme originaire. Ils ont 33 centimètres de long, 6 à 7 millimètres de diamètre, et sont disséminés en groupes qui divergent d'un même centre sur un espace de plus de 20 mètres carrés.

Inde. M. J. Malcolmson (1) a fait connaître les eaux minérales du lac Lonar, dont le fond vaseux recouvre un lit de natron. L'eau est claire et sans odeur désagréable, mais la vase est très chargée d'hydrogène sulfuré. Le natron est semblable au *trona* ou soude striée des lacs du Fezzan. L'auteur croit, comme Bertholet pour les lacs de l'Égypte, que le natron résulte de la décomposition mutuelle du muriate de soude et du carbonate de chaux lorsqu'ils étaient à l'état pâteux. Mais ayant trouvé que ce natron et celui du Fezzan contenaient moitié plus d'acide carbonique que n'en peut fournir le carbonate de chaux, il pense que l'acide carbonique, qui tient le calcaire en dissolution dans la vase, fournit l'acide et indique peut-être l'existence d'un sesqui-oxyde peu constant de cette substance. Partout où M. Malcolmson a vu le natron ou obtenu des détails sur son gisement, le muriate de soude et le carbonate de chaux existaient dans le sol, et le natron se présentait à la surface de la terre molle ou de la boue. M. Dumas (2) regarde comme plus facile d'expliquer la formation du natron par la décomposition du sulfate de soude qui accompagne toujours le sel marin, que par celle du sel marin lui-même.

Afrique. M. Russegger (3) a publié des notes sur la formation du carbo-

---

(1) *On the fossils of the eastern portion*, etc. Sur les fossiles de la partie orientale du district basaltique de l'Inde (*Transac. geol. Soc. of London*, vol. V, p. 537).

(2) *Traité de chimie appliquée aux arts*, vol. II, p. 334.

(3) *Arch. f. min. de Kartsen*, vol. XVI, p. 380-388, 1841, et n° 1, 1842.

Digitized by Google

nate de soude dans les lacs Natron et sur le sel du désert. M. J.-R. Roth a décrit particulièrement, dans ses *Observations géologiques pendant un voyage à Choa* (1), le lac salé de Bahr Assal, séparé de la baie de Zeyla par une digue de lave et dont le niveau paraît être inférieur à celui de la mer. C'est probablement le même qu'a vu M. Rochet d'Héricourt (2), et dont le rivage est bordé d'un banc de sel cristallin (*antè*, p. 208). Un autre lac salé revêtu d'une croûte de sel a été aussi mentionné au lieu dit Saltpan, sur une plate-forme élevée de l'Afrique méridionale (3). M. le général Marey (4), dans son expédition de Laghouat, signale les nombreux lacs salés du sud de l'Algérie, alimentés par les pluies en hiver, et presque tous à sec en été. Il les regarde comme d'anciens fonds de la mer, que le soulèvement de cette partie du continent aurait isolés à une époque assez récente.

M. J.-C. Frémont (5), dans son rapport sur l'expédition qu'il a dirigée à travers les Montagnes-Rocheuses, décrit les bords du *grand lac salé*, placé sur le versant occidental de la chaîne principale, comme formés de sable et de marais immenses, sur lesquels se déposent journellement des efflorescences salines et qui ressemblent à une ancienne plage abandonnée. La végétation y présente en outre tous les caractères des plantes qui vivent sur les bords de la mer. Cependant ce lac est à 1,280 mètres au-dessus du niveau de l'Océan Pacifique, et en est éloigné de plus de 11 degrés. M. Frémont, ayant fait évaporer à siccité 5 gallons (22,71 litres) d'eau du lac, a obtenu 14 pintes (7,95 litres) de substances salines, à grains fins et très blanches, dont 100 parties ont donné : Amérique du Nord.

Chlorure de sodium.	97,80
Id. de calcium.	0,61
Id. de magnesium. . .	0,24
Sulfate de soude.	0,23
Id. de chaux.	1,12
	100,00

(1) *Munch. gel. anz.*, 1844, p. 12-31.
(2) *Comp. rend.*, vol. XXI, p. 883. 1845.
(3) *Taschenb. de Leonhard*, vol. I, p. 168. 1845.
(4) *Expédition de Laghouat, dirigée en mai et juin 1844*, in-4°, vues et cartes. Alger, 1845. — *Bull. de la Soc. de géographie*, 3e sér., vol. III, p. 128. 1845.
(5) *Report of the exploring Expedition*, etc., in-8, avec cartes et vues. Washington 1845, p. 155-158.

Digitized by Google

Les falaises et les masses de roches qui surgissent çà et là, sur les bords du lac, sont recouvertes d'une croûte de sel blanc déposée par les vagues qui viennent s'y briser. M. Frémont ne dit pas s'il y a des animaux vivant dans cette eau, tellement saturée de matières salines, que les gouttes qu'il recevait sur ses mains et ses habits par le mouvement des rames y déposaient à l'instant une croûte de sel, et il signale seulement une espèce d'insecte dont les larves accumulées forment de petites couches sur la plage. Il attribue d'ailleurs la salure à des bancs de sel très considérables que l'on observe au sud, dans les environs du lac d'Utah, et qu'il regarde comme étant de formation secondaire.

Amérique du Sud.

M. Ch. Darwin (1) a fait connaître un lac salé situé à 15 milles de El-Carmen, sur le Rio-Negro. Ce lac, desséché en été, offre l'aspect d'un champ de sel aussi blanc que la neige, et de 2 milles et demi de long sur 1 de large. Vers les bords, la croûte a de 10 à 13 centimètres d'épaisseur, mais elle augmente en s'avançant vers le centre. Ces bords du lac sont formés d'une boue noire et fétide, saturée de matières salines, renfermant beaucoup de cristaux de gypse, qui ont jusqu'à 8 centimètres de long, et des cristaux de sulfate de soude, ce qui n'empêche pas qu'une multitude de vers et d'annélides ne puissent y vivre. D'autres lacs semblables se trouvent épars, soit au milieu de plaines composées de cailloux roulés recouvrant divers dépôts, soit dans la grande formation argilo-calcaire des pampas. On les observe depuis le 23° de lat. S. jusqu'au 50°, mais jamais sur les roches granitiques proprement dites. D'après le savant voyageur, cette immense surface aurait été élevée au-dessus du niveau de la mer à une époque géologique très récente, et il fait remarquer la grande analogie que présentent ces lacs, dans leur disposition et dans leurs caractères, avec ceux des bords de la mer Caspienne.

L'auteur signale ensuite (p. 91) les efflorescences salines, blanches, qui, tout à fait distinctes de celles des lacs précédents, recouvrent dans les temps chauds des plaines immenses. Ces efflorescences, entraînées par les eaux pluviales, semblent se reproduire après, et

(1) *Narrative of the surveying*, etc., vol. III. Journal et remarques, p. 75. Londres, 1839. — Voyez aussi : Alc. d'Orbigny, *Voyage dans l'Amérique méridionale*, vol. III, p. 63. — Ch. Darwin, *Geological observations*, etc. Observations géologiques sur l'Amérique du Sud, in-8. Londres, 1846, p. 69, 71 et 73.

Digitized by Google

être dues au sol boueux noir de ces plaines, élevées seulement de quelques pieds au-dessus du niveau de la mer. Ce sol est particulièrement formé de sulfate de soude mêlé à une petite quantité de muriate de soude.

§ 3. Alluvions des rivières et des torrents.

Les dépôts formés de nos jours par les alluvions des fleuves, des rivières et des torrents, n'ont une certaine importance que vers la partie inférieure de leur cours, c'est-à-dire là où ils se jettent dans la mer; or, comme nous étudierons dans le chapitre V tous les phénomènes qui ont lieu sur ces points par les influences combinées des eaux continentales, de la mer et des vents, nous ne mentionnerons ici que les sédiments abandonnés par les rivières et les fleuves sur le fond des vallées qu'ils arrosent, et dont l'épaisseur, depuis les temps historiques, n'atteint qu'un petit nombre de mètres. Ces alluvions sont en général, quant à leur nature et à leur quantité, en rapport avec la constitution du sol que parcourent les rivières et leurs affluents, et ces résultats purement locaux n'ont qu'un intérêt assez borné au point de vue général de la science. Ils sont d'ailleurs une nouvelle preuve de cette stabilité de l'état actuel des choses, que l'examen de la terre végétale nous avait déjà révélée. Nous rappellerons, par conséquent, en peu de mots, les ouvrages de géologie descriptive où des dépôts de ce genre ont été indiqués et quelques observations locales propres à faire connaître l'origine de certains faits particuliers.

Belgique. France.

Les alluvions actuelles des rivières du Brabant méridional ont été décrites par M. H. Galeotti (1); celles des cours d'eau qui traversent le département de l'Aisne l'ont été par nous-même (2); celles du département de la Somme, par M. Buteux (3); et celles du département des Ardennes par MM. Sauvage et Buvignier (4). M. Eugène Robert (5) a donné des détails sur les dépôts récents de la plaine de Grenelle dans le voisinage de la Seine, dépôts qui, sur une hauteur

(1) *Mém. couronnés par l'Acad. de Bruxelles*, vol. XII. 1837.
(2) D'Archiac, *Mém. de la Soc. géol. de France*, vol. V, p. 163. 1843.
(3) *Esquisse géol. du dép. de la Somme*, p. 93. Amiens, 1844.
(4) *Statistique minér. et géol. du dép. des Ardennes*, in-8, avec pl. et cartes. Mézières, 1842.
(5) *Bull.*, vol. XIV, p. 298. 1843. Et *Histoire et description naturelle de Meudon*, in-8, p. 298. Paris, 1848.

Digitized by Google

de 6 mètres, sont composés de gravier grossier, de limon gris noirâtre et de terre végétale. Des calcaires concrétionnés ou encroûtants paraissent en outre se former autour de la base des îles Séguin et Billancourt. On les observe particulièrement dans les endroits où les eaux frappent les berges avec le plus de force, c'est-à-dire en amont de chacun de ces îlots. Le même géologue a publié aussi quelques observations sur les atterrissements de la vallée de la Loire aux environs d'Orléans (1).

Les coquilles marines découvertes dans une fouille faite près de Tournus, sur les bords de la Saône, et que l'on avait d'abord regardées comme réellement en place (2), ont été reconnues depuis pour y avoir été apportées par les habitants à une époque ancienne (3). Le limon déposé par la Saône a été l'objet des recherches de M. Rozet (4). Ce géologue distingué a fait voir que le limon avait immédiatement succédé au terrain diluvien qui le borde des deux côtés, et qu'il date de l'existence de l'homme, ou lui est de très peu antérieur. On y trouve, en effet, des ossements humains, des objets d'industrie et des débris de mammifères dont les espèces vivent encore dans le pays, ce que l'on n'observe pas dans le dépôt placé dessous. M. Rozet s'est aidé dans ses appréciations de l'épaisseur du limon dont a été couverte une voie romaine qu'il suppose abandonnée depuis 1,000 ans. La hauteur maximum de ce limon était de $0^{m},32$.

M. C. Boulanger (5) a décrit les alluvions et les atterrissements du département de l'Allier; M. S. Gras (6) ceux du département de la Drôme, et M. Gueymard (7) ceux du département de l'Isère.

Suisse. Dans ses *Études géologiques dans les Alpes* (8), M. Necker, après avoir indiqué les caractères du dépôt d'alluvion qui se forme

(1) *Bull.*, 2e sér., vol. II, p. 282. 1845.
(2) T. Virlet, *Ibid.*, p. 281. — *Comp. rend.*, vol. XX, p. 517. 1845.
(3) J. Canat, *Bull.*, 2e sér., vol. III, p. 271. 1846.
(4) *Mém. sur la masse de montagnes qui sépare la Loire du Rhône* (*Mém. de la Soc. géol. de France*, vol. IV, p. 135. 1840).
(5) *Statistique minér. et géol. du dép. de l'Allier*, avec atlas. Moulins, 1844.
(6) *Statistique minér. et géol. du dép. de la Drôme*, in-8, p. 304, 1 carte. Grenoble, 1835.
(7) *Statistique minér. et géol. du dép. de l'Isère*, in-8, avec carte. Grenoble, 1844.
(8) Vol. I, p. 204. Paris, 1841.

Digitized by Google

au confluent de l'Arve et du Rhône, a expliqué la disposition tantôt horizontale et tantôt oblique ou en zigzag des petits lits de sable qui composent ce dépôt. Cette explication, trop étendue pour être rapportée et trop compliquée aussi pour être résumée en peu de mots, nous a paru fort ingénieuse et rendre très bien compte des irrégularités de ce genre que l'on rencontre si souvent dans les dépôts arénacés ou mécaniques des diverses époques. L'auteur donne à cette disposition le nom de *structure torrentielle*.

M. Gressly a signalé les caractères du dépôt moderne alluvien, dans ses *Observations géologiques sur le Jura soleurois* (1), et MM. A. Bravais et Martins (2) ont publié le résultat de leurs recherches sur le delta de l'Aar, à l'embouchure de cette rivière dans le lac de Brienz. Le talus immergé de ce delta est de 30° au commencement de la pointe, puis il s'affaiblit et n'est plus que de 20° à 300 mètres du rivage. La surface en est sensiblement plane et formée de sable siliceux très fin, noirâtre, qui constitue le fond du lac dans presque toute son étendue.

M. L. Horner a fait quelques recherches *Sur la quantité de matière solide tenue en suspension dans l'eau du Rhin* (3). La première observation, faite au mois d'août, a donné 21,10 grains (1 gr. 344 milligr.) de matières sédimentaires ou $\frac{1}{20,734}$ de la quantité d'eau employée. Le fleuve était alors très bas, mais trouble. Au mois de novembre suivant, les eaux étant hautes et fort troubles, l'auteur a obtenu 35 grains (2 gr. 240 milligr.) ou $\frac{1}{12,500}$ d'un pied cube d'eau. Calculant ensuite la quantité moyenne pour 24 heures et estimant la largeur moyenne du Rhin à Bonn à 1,200 pieds, sa profondeur moyenne à 15 pieds, la vitesse moyenne de l'eau à 2 milles 1/2 à l'heure, et la quantité de matières sédimentaires à 28 grains par pied cube d'eau, il en conclut qu'il passe à Bonn, dans un laps de 24 heures, 145,981 pieds cubes de matières sédimentaires tenues en suspension dans les eaux du fleuve. Quant à ces matières elles-mêmes, elles avaient tous les caractères du loess ou lhem de la vallée du Rhin. Bords du Rhin.

M. Da Rio (4) a signalé une argile figuline très employée pour la Italie.

(1) *Nouveaux mém. de la Soc. helvétique des sc. naturelles*, vol. I, p. 324. 1837-1838.
(2) *Bull.*, 2e sér., vol. II, p. 118. 1844.
(3) *Proceed. geol. Soc. of London*, vol. II, p. 71. 1834.
(4) *Orittologia euganea*, in-4. Padoue, 1836.

Digitized by Google

fabrication des poteries. Elle constitue une alluvion locale qui se continue encore, et qui résulte du lavage des roches trappéennes altérées et décomposées. Elle est d'ailleurs très distincte de la grande alluvion ancienne qui recouvre toute la plaine de Padoue et le sol plat des provinces Lombardo-Vénitiennes.

Dans son *Traité sur la constitution géognostico-physique des terrains alluviens et diluviens des provinces Vénitiennes* (1), M. T.-A. Catullo a parlé successivement des cailloux roulés de l'époque actuelle, confondus quelquefois à tort avec les conglomérats de la base des marnes sub-Apennines, puis du dépôt alluvial argileux et sableux et de l'argile placée sous la tourbe et nommée *creta* dans le pays. Ces couches, fort étendues dans les provinces Lombardo-Vénitiennes comme dans le Milanais, sont d'origine d'eau douce, non comprises dans un seul bassin, mais réparties au contraire dans divers lacs à des niveaux différents. L'argile alluviale, remplie de coquilles exclusivement lacustres, constitue des lits plus ou moins considérables avec des veines de sable et de petit gravier. Formés après l'éloignement de la mer, ces dépôts renferment des ossements qui, de même que les cailloux de porphyre et de granite, ont éprouvé un ramollissement particulier attribué par Breislak à l'acide sulfurique des pyrites décomposées répandues dans les argiles. On trouve, au contact de celles-ci et du sable, des *caranti* ou espèce de conglomérats appelés *ferretti* par les Lombards, et composés de grains de sable légèrement agglutinés par un ciment argilo-ferrugineux. Les argiles alluviennes contiennent, avec des débris de l'industrie humaine et des ossements du *Cervus euryceros*, le *Lymnæus stagnalis*, *L. palustris*, *L. auricularis*, *L. ovatus*, *Paludina impura*, *P. muriatica*, *Valvata piscinalis*, *Anodonta anatina*, *A. cygnea*, et l'*Unio elongata*.

Russie. Dans les régions froides, la débâcle des glaces au printemps donne lieu à des espèces de digues que forment sur les berges des rivières les blocs arrachés par les glaces. Celles-ci, lors des crues, sont charriées comme des radeaux qui viennent échouer sur les bords où elles marquent, par leur amoncellement, la hauteur maximum qu'atteignent les eaux. Ces dernières, en baissant, les abandonnent sur la rive ; les blocs de glace fondent ensuite et laissent, à la surface du sol, les fragments de roche dont ils étaient chargés. M. Mur-

(1) In-8. Padoue, 1838.

chison (1), qui décrit ces circonstances pour les rivières du nord de la Russie, ajoute que dans la Laponie, d'après M. Boehtlingk, on observe des exemples extraordinaires de cette action fluvio-glaciale. Ainsi, l'on voit des blocs de granite, du poids de plusieurs tonnes, qui se trouvent embarrassés et suspendus, comme des oiseaux pris au filet, dans les branches des sapins qui bordent les rivières, et à des hauteurs de 7 à 13 mètres au-dessus du niveau des courants en été. On se fait difficilement une idée de l'immense volume d'eau et de matières boueuses charriées par les rivières du Nord lors de la fonte des glaces. Les eaux atteignent sur certains points 13 et 14 mètres au-dessus de leur niveau estival, et portent à la mer une partie de la terre végétale des surfaces qu'elles balayent ainsi.

Entre la Jumna et la Betwah, un dépôt d'alluvion moderne forme le sol de la ville de Hammerpour. Victor Jacquemont (2) y signale des produits de l'industrie humaine jusqu'au niveau des basses eaux et sur une hauteur de 20 à 25 mètres, puis des concrétions calcaires. Celles-ci, dont la formation est attribuée aux eaux de la Betwah, constituent un *kankar* moderne. Elles ont la forme et la grosseur des silex pyromaques de la craie. Leur cassure grossière offre un mélange de grains de quartz avec un peu de mica agglutinés par un ciment calcaire poreux. Elles diffèrent d'ailleurs des concrétions plus anciennes éparses sur les plateaux environnants. M. Campbell (3) a mentionné en outre des sables sodifères, sans doute très récents et reposant sur le kankar autour de Barra-Mahal. Asie. Inde.

M. Hitchcock (4) a fait connaître la puissance de la glace pour enlever les blocs des marais ou des lacs. Les bords des étangs sont garnis de ces fragments de roches, tandis qu'il n'y en a pas au fond. Ceux qui s'y trouvaient dans l'origine ont été saisis par les glaces, puis soulevés avec elles lors des crues du printemps. Les glaces brisées sont venues s'échouer sur les bords, y fondre et y abandonner les blocs. Après les hivers rigoureux, la force produite par la débâcle des glaces est réellement énorme sur les bords des rivières encaissées. M. Logan (5) a aussi décrit les effets de la Amérique du Nord.

---

(1) Murchison, de Verneuil et le comte de Keyserling, *Russia and the Ural mountains*, etc., vol. I, p. 566.
(2) *Voyage dans l'Inde*. Journal, 3e partie, p. 444.
(3) *Journ. of asiat. Soc. of Bengal*, vol. X, p. 159. 1840.
(4) *Boston Journ. nat. History*, vol. I, p. 74 et 80. 1837.
(5) *Quart. Journ. geol. Soc. of London*, vol. III, p. 422. 1846.

Digitized by Google

formation des glaces, et de la débâcle du Saint-Laurent autour de Montréal.

§ 4. Action des cours d'eau sur les roches.

Chutes d'eau ou cataractes.

Les chutes du Niagara ont été l'objet de nouvelles observations de la part de M H. D. Rogers (1). Cet habile géologue s'est attaché d'abord à réfuter les données sur lesquelles avait été basée l'évaluation de l'âge de cette cataracte. Ainsi, M. Backwell admettait que la chute avait reculé de 7 milles dans une période de 9,856 ans; M. Forsyth, de son côté, évaluait ce mouvement à 40 ou 50 mètres par an, et M. Faïrholme plaçait le commencement de la chute à Queenstown. Après avoir prouvé qu'il n'en avait jamais été ainsi, l'auteur fait voir qu'à l'origine le canal a pu être le résultat d'un ravinement produit par des torrents diluviens, et cela, à une ou plusieurs reprises. Il démontre ensuite que l'évaluation du temps que le Niagara aurait mis à creuser son canal est tout à fait inadmissible, lorsqu'on examine la disposition et la nature des couches dans lesquelles ce canal est excavé. L'origine des chutes de Trenton et de la rivière du Genessee peut être attribuée à une cause analogue et remonter à la même époque. M. Rogers rejette également l'opinion de M. Faïrholme, que ces chutes et ces rapides, fréquents dans l'Amérique du Nord, résultent de l'arrangement de la surface dans chaque grand plan secondaire, principalement composé de roches calcaires horizontales.

M. J. Hall (2) a donné un excellent article sur la disposition des couches qui composent le sol entre le lac Ontario et le lac Érié, et il a suivi avec beaucoup d'attention et de sagacité tous les détails relatifs à la chute du Niagara. Les couches plongent au S. ou en sens inverse de la pente de la rivière dont le lit les coupe toutes successivement depuis le calcaire d'Helderberg, à la sortie du lac Érié, jusqu'aux marnes rouges de Lewiston, qui se prolongent ensuite vers le lac Ontario. Les rapides qui précèdent la cataracte sont sur un calcaire en lits minces, constituant la partie supérieure du *calcaire du Niagara*. Celui-ci, qui forme la crête du pays dirigée E.-O., se trouve coupé, à l'endroit de la chute, dans toute sa hauteur, par le canal de la rivière, de même que les argiles cal-

(1) *Amer. Journ.*, vol. XXVII, p. 326. 1835. — *Edinb. new phil. Journ.*, vol. XIX, p. 281. 1835.
(2) *Boston Journ. of natur. History*, vol. IV, p. 106. 1844.

Digitized by Google

carifères tendres qui le supportent; et, du pied de la chute jusqu'au lac Ontario, la rivière coule sur des alternats de calcaire, de grès et de schistes divers.

M. Hall n'a reconnu aucune faille ni aucun mouvement du sol auquel le canal de la rivière pût être attribué, et il pense que, d'abord ébauché par un cataclysme diluvien, comme nous venons de voir que l'avait indiqué M. H. D. Rogers, le courant actuel aura continué à le façonner, et que les cataractes peuvent avoir reculé par la destruction de l'assise argileuse qui supporte le calcaire du Niagara, car celui-ci, se trouvant sans appui, s'écroule successivement. L'auteur fait voir, en terminant, quelle sera la marche ultérieure du phénomène, à mesure que les chutes reculeront, et, en définitive, la pente devra se régulariser par la nature même des couches et par l'arrangement des matériaux qui résulteront des parties détruites.

M. Ch. Lyell (1), après avoir rappelé tout ce qui est relatif à l'historique de cette question, s'attache à prouver que le lit profond que suit la rivière, sur le prolongement de l'escarpement de Queenstown, a été formé par les eaux de la rivière même, mais qu'une vallée peu profonde y existait déjà. Ce célèbre géologue donne ensuite beaucoup de détails sur l'ancien reculement des chutes, en rapport avec la nature des couches, depuis le lac Ontario jusqu'aux cataractes actuelles, et sur sa marche future qui pourra être modifiée par l'action de l'homme, à cause du creusement des canaux, des déboisements, des défrichements, etc.

Le retrait de la chute peut être estimé à 1 pied par an, si le mouvement a été graduel; or, la longueur du canal qui est dû à l'action de la rivière, depuis Queenstown jusqu'à la chute actuelle, étant de 7 milles, il se serait écoulé 36,960 ans, depuis que le Niagara avait sa chute près de cette ville. Les mollusques fluviatiles et terrestres, qui vivent encore sur les lieux, existaient déjà à cette époque, puisqu'on les trouve dans le dépôt qui constitue les berges que la rivière a coupées, et qui étaient par conséquent formées avant le canal résultant du retrait de la cataracte (2). Enfin, nous avons fait connaître précédemment (*antè*, p. 197) les calculs

(1) *Proceed. geol. Soc. of London*, vol. III, p. 595. 1842.

(2) C. Lyell, *Travels in north America*. — L. Horner, *Anniversary address*, etc. (*Quart. Journ. geol. Soc. of London*, vol. IV, p. 44. 1847).

Digitized by Google

qui avaient été faits sur la puissance mécanique de la chute du Niagara.

Trous, cuves, pots ou marmites de géants (*pot-holes*).

Les excavations plus ou moins cylindriques ou circulaires du lit rocheux des rivières ont été particulièrement observées dans ces derniers temps, à cause des cavités analogues produites à une époque antérieure à la nôtre, et que l'on a rattachées à l'extension des anciens glaciers ou des courants auxquels ils ont donné lieu.

France.

M. H. Hogard (1) signale dans les roches arénacées des Vosges, entre lesquelles coulent les eaux du Saut-du-Broc, au-dessous de Jarménil, un grand nombre de trous arrondis de diverses grandeurs. Leur diamètre ne dépasse pas 0,50, et leur profondeur varie de 0,30 à 2 mètres. Ils sont en forme de tubes, dont les parois sont contournées en spirales. On trouve au fond des fragments arrondis de roches dures ou de granite, mis en mouvement par les eaux et favorisant l'érosion. Ces trous fort nombreux se présentent par groupes, même au sommet de presque toutes les montagnes granitiques couronnées de grès, aux environs de St-Dié, de Remiremont, etc. On observe souvent dans leur voisinage des sillons parallèles à la direction des cours d'eau.

M. Baudin (2) a décrit, dans le département du Cantal, les cuves ou petits bassins du Saut-de-la-Saule, qui sont analogues à ceux des îles Sorlingues et du Cornouailles. Ils se trouvent dans un gneiss quartzeux et sont placés immédiatement sous la chute d'eau. Ils ont depuis quelques décimètres jusqu'à plusieurs mètres de diamètre, et il y a plus ou moins d'eau, suivant qu'il y a plus ou moins longtemps qu'ils ont été remplis par les crues. Les parois en sont parfaitement polies, et leur forme est indépendante de la nature minéralogique de la roche comme de sa structure. Ces trous ne résultent point, dit M. Baudin, de la décomposition de cette roche, ainsi qu'on l'a prétendu, mais d'une perforation lente due aux galets amenés par les eaux et qui, tenus dans un mouvement continuel par l'impulsion saccadée ou tourbillonnante de ces eaux, taraudent la roche par frottement. On trouve, en effet, au fond de toutes ces cavités des galets de gneiss, de quartz, de schiste amphiboleux et de basalte.

---

(1) *Descrip. minéral. et géol. du système des Vosges*, in-8, et atlas. Epinal, 1837, p. 172.

(2) *Statistique minér. du dép. du Cantal* (*Ann. des sciences de l'Auvergne*, vol. XVI, p. 50. 1843).

Digitized by Google

Le Tarn, à son entrée dans la plaine d'Alby, forme une cataracte connue sous le nom de *Saut-du-Sabot*. Cette chute, dit M. de Collegno (1), tombe de 20 mètres de hauteur dans une gorge fort étroite qui, sur une longueur de 300 mètres, est creusée dans des roches schisteuses semi-cristallines. Les eaux sont divisées par une usine établie en cet endroit, et la plate-forme qui sépare les deux courants et qui est recouverte dans les grandes crues présente à sa surface des stries, des sillons et un poli si parfait, que l'on ne peut y marcher qu'avec précaution. La surface des roches schisteuses est en outre creusée par des cuves plus ou moins profondes et dont le diamètre varie depuis quelques décimètres jusqu'à un mètre. Leur orifice est au-dessus du niveau ordinaire du Tarn, qui ne les recouvre que dans les grandes crues. En rappelant plus tard ces mêmes observations, M. de Collegno a signalé, d'après M. Des Moulins, des excavations du même genre dans le lit de la Dordogne, aux environs de la Linde, où elles sont creusées dans un calcaire à Hippurites très dur.

M. Ch. Martins (2) a fait connaître une cavité de ce genre dans le lit de l'Arve, à l'entrée de la vallée de Chamouny. Suisse.

Ces trous se rencontrent aussi dans le lit de beaucoup de rivières des Indes méridionales, surtout dans les endroits où les chutes, les cascades ou les rapides sont fréquents. M. Newbold (3), l'un des officiers anglais qui ont le plus contribué à faire connaître la géologie de l'Inde, en a observé dans le lit de la Toombuddra, près de l'île de Desanur, au-dessous des chutes. Les cavités sont très nombreuses, de formes en général ovales ou circulaires et de diverses grandeurs. Leur circonférence est quelquefois de 4 mètres et leur profondeur de $1^m,30$. Dans beaucoup d'endroits où la roche forme une table unie, on remarque des stries, et ces cavités sont réunies par d'étroits canaux creusés aussi dans le granite et suivant la direction du courant. Le diamètre intérieur des trous est ordinairement plus grand que celui de l'orifice, et l'on remarque au fond une sorte d'élévation conique, de deux à trois pouces de haut et semblable au Asie. Inde.

(1) *Sur le terrain diluvien des Pyrénées*, p. 36. 1843. (Voyez *Ann. des sc. géol.*, vol. II, p. 196, pour le commencement de ce mémoire, dont l'impression a été continuée par l'auteur.)

(2) *Bull.*, 2ᵉ sér., vol. II, p. 321. 1845.

(3) *On rock-basins*, etc. Sur les bassins de la roche dans le lit de la Toombuddra (*Proceed. geol. Soc. of London*, vol. III, p. 702).

Digitized by Google

fond d'une bouteille ordinaire. Il y a de plus quelques trous en forme d'entonnoir, et beaucoup d'érosions superficielles qui rappellent la forme d'un sabot de cheval avec la fourchette au milieu.

Ces cavités, d'après l'opinion de M. Newbold, doivent être attribuées à une érosion produite par l'eau, aidée de l'action de l'atmosphère sur la roche pendant la saison sèche, et ces deux causes doivent suffire, étant encore favorisées par le frottement des blocs et des cailloux roulés par le courant; mais ce dernier agent ne paraît pas à l'auteur devoir être essentiel. L'eau, dit-il, ayant d'abord creusé une dépression, quelque faible qu'elle soit, y forme bientôt un remous circulaire, et par ce moyen élargit les côtés et le fond, plus que l'orifice. Ces cavités sont vides et dépourvues de sédiment; quelques unes cependant contiennent des cailloux et du sable déposés au fond, en lits horizontaux qui ne sont pas dérangés par le mouvement giratoire de l'eau.

Dans un autre Mémoire (1), le même géologue a repoussé l'opinion qui attribue la formation des *pots* ou *marmites de géants* à l'action des glaciers, et il a fait voir que dans l'Inde méridionale, où il n'y a jamais eu de glaciers, ils se formaient sous l'influence de l'eau. Il annonce de plus en avoir observé de semblables dans les roches granitiques au centre du désert du mont Sinaï, dans les calcaires de l'Égypte, de la Sicile et de Malte. Les sillons en petit nombre que l'on remarque sur quelques mamelons granitiques, au confluent de l'Ogri et de la Toombuddra, sont dus à des cailloux transportés par les eaux.

Amérique du Nord.

Le lit de la Mohawk présente, au-dessus du niveau actuel des eaux, des pots de géants formés, dit M. Conrad (2), par la rotation des cailloux dans les courants anciens. Leur profondeur est d'un mètre ainsi que leur diamètre, et leurs parois intérieures sont unies. M. Featherstonhaugh, dans un mémoire que nous avons déjà cité en parlant des excavations des lits rocheux des rivières par la marche de leurs cataractes (*antè*, p. 197), pense que le volume d'eau des anciennes rivières était beaucoup plus considérable qu'il ne l'est aujourd'hui; qu'il produisait des cataractes plus puissantes et opérait plus rapidement le creusement de leur lit par la retraite

(1) *Summary of the geology*, etc. Résumé de la géologie de l'Inde méridionale. 1845.

(2) *First annual report*, etc. Premier rapport annuel sur l'exploration géologique du 3e district de l'Etat de New-York, 1837, p. 155.

Digitized by Google

de ces dernières. Il signale en outre, dans le pays des Cherokees, au bas d'une cataracte, de nombreux pots de géants qui concourent puissamment à la destruction rapide du gneiss sous-jacent. Enfin, M. C.-T. Jackson a décrit, dans le New-Hampshire, des pots de géants aux chutes de *Bellows-Falls*. Leur profondeur est d'un mètre au plus, et ils sont creusés dans une roche très dure (1).

Nous nous bornerons à mentionner ici quelques ouvrages dans lesquels on a traité du changement de niveau de certains fleuves, et de l'influence du déboisement. Changement de niveau des fleuves, et influence du déboisement.

BERGHAUS. — *Sur les changements du niveau des eaux du Weser, de la Vistule et du Memel* (*Ann. de Berghaus, der Erdkunde*, 1837, oct., vol. XVII, p. 92-96).

— *Influence de la destruction des forêts sur la moindre quantité de l'eau des rivières en Russie* (*Ibid.*, p. 214-276).

W. PFEIL. — Le niveau bas actuel des fleuves, et en particulier de l'Elbe et de l'Oder, provient-il de la diminution des forêts? (Voyez ses *Kritische blatter f. forst. Wiss.*, 1837, vol. II, p. 62-91).

DE KOEPPEN. — *Sur l'influence de la diminution des forêts sur la moindre quantité d'eau du Volga supérieur, ou état des forêts et des eaux dans le Volga moyen et supérieur* (*Beitrage z. kenntniss d. russisch Reiches*, 1841, vol. IV, p. 162-268; une carte).

— *Uber den Wald*, etc. Sur la provision de bois et d'eau dans le district du Volga supérieur et inférieur, in-8, une carte. St-Pétersbourg, 1841.

SURELL. — *Etudes sur les torrents des Hautes-Alpes*, in-8. Paris, 1841.

(1) *Final report*, etc. Rapport final sur la géologie et la minéralogie de l'Etat de New-Hampshire, in-4. Concorde, 1844 (*Bull.*, 2e sér., vol. II, p. 319).

Digitized by Google

CHAPITRE IV.

PRODUITS ORGANIQUES. — VÉGÉTAUX.

§ 1. Tourbe et marais tourbeux.

M. W. Perceval-Hunter s'est occupé des tourbes de l'Irlande, et dans un Mémoire qu'il a publié sur ce sujet (1), il a traité de la formation de cette substance et de son origine, qu'il attribue particulièrement au *Sphagnum palustre*. Après avoir rappelé qu'on ne connaît pas de tourbes dans les pays méridionaux ni sous les tropiques, il signale les points de l'Irlande, tels que les parties les plus élevées de Donegal, de Mayo, de Connemara, où il en existe des couches qui ont $3^{m},30$ d'épaisseur. M. Jameson avait déjà cité (2), comme on sait, des tourbes très épaisses sur le sommet des montagnes, dans les Highlands d'Écosse, à 650 mètres d'altitude. M. Hunter s'occupe ensuite de l'étendue des tourbières d'Irlande, de l'origine des marais, des corps organisés et des débris d'industrie qu'on y trouve, et décrit l'éruption boueuse du marais de Ballymena, dans le comté d'Antrim. Ce phénomène a été produit par l'accumulation de l'eau sous un marais tourbeux. La masse ainsi soulevée a été emportée et charriée à une assez grande distance. Irlande.

M. L. Jenyns (3) a décrit la tourbe des marais du Cambridgeshire. Elle n'est pas formée de *Sphagnum*, mais de diverses plantes aquatiques qui, pendant un grand nombre d'années, se sont accumulées sur les débris de forêts ensevelies au fond de ces marais. Il y a deux sortes de tourbes : la supérieure, compacte et pesante ; l'inférieure, presque entièrement composée d'écorces, de branches et de rameaux d'arbres submergés (4). Angleterre.

(1) *Geological notes*, etc. Notes géologiques contenant une relation de l'éruption d'un marais dans le comté d'Antrim. Cork, 1835 (*Magaz. natur. History*, mai 1836. — *Bibl. univ. de Genève*, vol. V. p. 184).

(2) *Géologie des îles Shetland.*

(3) *Report* 15th *Meet. brit. Assoc. at Cambridge*, 1845. — *L'Institut*, 29 oct. 1845, p. 377.

(4) Voyez aussi W.-B. Clarke, *Sur les tourbières et les forêts*

Digitized by Google

Hollande. « Il existe dans les Pays-Bas, dit M. Élie de Beaumont (1), de » nombreuses tourbières en cours de formation, désignées habi» tuellement sous le nom de *moor* ou de *veen*. On peut en distinguer » de deux sortes : les unes continentales, les autres littorales. Les » premières sont renfermées dans l'intérieur de la *geest* (2), soit » dans des vallons, soit même sur des hauteurs aplaties d'où l'eau » ne s'écoule pas aisément. Les *moors* littorales bordent la *geest* du » côté de l'embouchure des rivières, et elles séparent ainsi le ter» rain continental des atterrissements récents. De là, les alternances » observées dans les puits. Aucun pays n'était plus favorable que la » Hollande à la formation de la tourbe, à cause du grand nombre de » localités où les eaux qui suintent à travers le sable s'écoulent dif» ficilement. »

Belgique. M. H. Galeotti (3) a parlé des tourbières du Brabant méridional dans son mémoire sur cette province.

France. Nous avons conclu de l'examen détaillé de celles du département de l'Aisne (4), « que la tourbe peut se former avec les débris de » toutes sortes de végétaux ; mais il faut pour cela que les eaux ne » soient pas complétement stagnantes, qu'elles ne charrient pas de » limon, et qu'elles ne soient pas sujettes à de grandes crues. Il » faut en outre qu'elles soient très peu profondes, très peu rapides, » et qu'elles coulent sur un fond argileux et peu perméable, et non » sur un diluvium de sable et de cailloux roulés. »

Près du village de Naumoise, entre Villers-Cotterets et Crépy-en-Valois (Oise), M. Melleville (5) a signalé une tourbe pyriteuse moderne qui, à sa partie inférieure, passe à un véritable lignite. Un dépôt du même genre se trouve aussi près de Jaulgonne, à l'ouest de Château-Thierry (Aisne). M. Buteux (6) a mentionné les tourbières nombreuses du département de la Somme, et paraît y avoir

---

sous-marines du Hampshire et du Dorsetshire (*Soc. géol. de Londres;* 17 janv. 1838).

(1) *Leçons de géologie pratique*, vol. I, p. 263.

(2) Nom local du grand dépôt sableux superficiel qui recouvre presque toute la Hollande et les parties adjacentes de la Belgique et de l'Allemagne.

(3) *Mém. couronnés par l'Académie de Bruxelles*, vol. XII. 1837.

(4) D'Archiac, *Mém. de la Soc. géol. de France*, vol. V, p. 169. 1843.

(5) *Bull.*, vol. XIV, p. 271. 1843.

(6) *Esquisse géol. du dép. de la Somme*, p. 93. Amiens, 1844.

trouvé, ainsi que dans les alluvions modernes, des débris de grands mammifères qui ne vivent plus dans le pays, tels que l'urus, l'aurochs, le castor, la baleine franche, etc. Dans le département des Ardennes, MM. Sauvage et Buvignier (1) ont reconnu que la tourbe occupait deux gisements distincts : l'un dans la vallée de la Bar, et l'autre sur les plateaux et dans les vallons des schistes ardoisiers. Il s'en forme aussi dans les parties basses et marécageuses du terrain secondaire. La tourbe des pays élevés se compose principalement de diverses espèces de *Sphagnum*, mais dans les vallées on ne rencontre plus cette mousse ; l'espèce dominante est alors l'*Hypnum cuspidatum* associé à quelques espèces de *Bryum*. Dans les arrondissements de Mézières et de Rocroy, la tourbe s'élève jusque sur des plateaux de 370 mètres d'altitude. On la rencontre principalement vers la source de chaque ruisseau et dans les moindres dépressions du sol.

Dans les Vosges, M. Rozet (2) signale aussi la tourbe comme occupant deux positions différentes : ainsi elle se forme dans les endroits marécageux et autour des étangs, ou bien sur les flancs des montagnes et sur des sommets qui ne sont pas du tout marécageux, et qui même paraissent ne l'avoir jamais été, vu leur grande inclinaison ; tels sont les sommets du Brézouars, de Thanet, du Fing, etc. M. H. Hogard (3) s'est également occupé des tourbes de cette chaîne.

Dans les départements du Finistère et des Côtes-du-Nord, M. de Fourcy (4) a indiqué un certain nombre de dépôts tourbeux, puis les forêts sous-marines de la baie de St-Brieuc, près de la pointe du Roselier, et celle que M. de La Fruglaye avait fait connaître dès 1811 sur les côtes du Finistère.

M. Coquand (5) a décrit les tourbières marines situées entre La Chaume et Les Granges (Vendée). La tourbe y est formée par l'accumulation de diverses plantes marines (*Ulva*, *Fucus*) et divisée en plusieurs couches. Les parties inférieures sont compactes et assez

(1) *Statistique minér. et géol. du dép. des Ardennes*, in-8 avec carte, Mézières, 1842.

(2) *Descript. de la partie méridionale de la chaîne des Vosges*, in-8, avec carte, p. 107. Paris, 1834.

(3) *Descript. minér. et géol. du système des Vosges*, in-8, avec atlas, Epinal, 1837.

(4) *Carte géologique du Finistère*. Texte, p. 161. 1844. — *Id. des Côtes-du-Nord*. Texte, p. 161. 1844.

(5) *Bull.*, vol. VII, p. 81. 1836.

Digitized by Google

homogènes, tandis que vers le haut la teinte est moins foncée et les plantes sont moins altérées. La tourbe repose sur une terre d'alluvion, dans laquelle on distingue encore des Fucus avec des coquilles d'eau douce mêlées à des coquilles qui vivent dans la vase des marais salants, circonstance qui permet de la regarder comme du même âge que l'alluvion placée en-deçà des dunes de cette côte.

D'après M. A. Burat (1), l'extraction annuelle de la tourbe en France est de 1,200,000 stères, pesant 4,500,000 quintaux métriques, et représentant une valeur de 3,652,000 francs. Il y a 1,800 tourbières, réparties principalement dans les départements de la Loire-Inférieure, qui produit 75,000 stères, de l'Isère, 100,000, du Doubs, 60,000, du Pas-de-Calais, 170,000, de la Somme, 290,000, de l'Aisne, 70,000, de l'Oise, 80,000, et de Seine-et-Oise, 75,000.

Danemark. Dans les tourbières d'Elseneur, M. Eugène Robert (2) a remarqué que la tourbe contenait une grande quantité de débris d'insectes parfaitement reconnaissables et encore revêtus de leurs couleurs : tels sont l'*Aphodius fossor*, le Bouclier, deux variétés de Buprestes, des Galéruques et des Altises. Ces tourbières du Danemark ont d'ailleurs été décrites en détail, ainsi que leurs produits, dans le premier volume de la *Statistique de la monarchie danoise*, par M. A.-F. Bergsöe (3).

Russie. M. E. Robert a constaté, à l'ouest d'Arkhangel, et en suivant une des bouches de la Dwina, jusqu'au monastère de St-Nicolas (4), sur la rive gauche du fleuve, la présence d'une couche de tourbe qui paraît être très ancienne et qui a de 2 à 3 mètres d'épaisseur. Elle renferme, vers le milieu, un grand nombre de troncs d'arbres encore debout ou enracinés, mais brisés à 1 mètre ou 1^{m},30 du collet; sans doute, dit l'auteur, par l'effet d'une débâcle de la Dwina, dont les glaces auront rasé une grande surface couverte de bois. Cette tourbe repose sur un sable argileux qui a servi de sol aux arbres précédents, et qui renferme beaucoup de pyrites de fer. Celles-ci par leur décomposition rendent ferrugineuses presque toutes les rivières du pays. Un sable grisâtre qui se dépose actuellement tend à recouvrir le tout.

(1) *Géologie appliquée*, p. 65, in-8. Paris, 1844.
(2) *Bull.*, vol. IX, p. 114. 1838.
(3) *Den danske Stats Statistik*. Copenhague, 1844? — *Bull. de la Soc. de géographie*, 3^{e} sér., vol. III, p. 261. 1845.
(4) *Bull.*, vol. XI, p. 318. 1840.

Digitized by Google

Dans les provinces Vénitiennes, toutes les tourbes reposent sur une couche d'argile ou de marne argileuse (1). Italie.

Dans le district de Limerick (État du Maine), M. Ch.-T. Jackson (2) a signalé des tourbières qui renferment une substance semblable au *cannel coal*. A 1 mètre au-dessous de la surface du sol, la tourbe est formée de troncs, de racines et de souches de l'époque actuelle. A une profondeur de 7 mètres, elle repose sur un sable siliceux blanc. Les échantillons de charbon bitumineux étaient composés de l'écorce d'un arbre voisin du pin d'Amérique, et dont la structure a pu être mise à nu par le polissage. L'auteur suppose que cette substance résulte de changements survenus dans la résine du sapin pendant son immersion. Le phénomène de la carbonisation de la houille se produirait donc encore, et la différence entre le bitume et la résine étant peu considérable, l'absorption d'une petite quantité d'oxygène suffirait pour effectuer ce changement. Amérique du Nord.

L'existence de forêts sous-marines a été constatée par M. Hitchcock (3) dans la baie de Nantucket, à Holmes'holes, sur l'île de Martha's-Vineyard, puis vers la partie nord du cap Cod, s'étendant, sur une distance de plusieurs milles, jusqu'à la baie de Barnstaple et la côte de Provincetown. Ces divers amas de bois plus ou moins passés à l'état de tourbe, mais souvent encore reconnaissables, paraissent dus à la même cause et se trouver dans les mêmes conditions. Ils sont placés à 3m,60 au-dessous de la basse mer et recouverts de 1m,30 de sable. Ces forêts sous-marines et celles de l'île de Jewell et de Diamond-Cove, dans l'île Hogg, sur les côtes du comté de Portland (Maine), sont les premières qui aient encore été signalées aux États-Unis.

Diverses observations, outre celles que nous indiquons dans l'Appendice suivant, ont encore été faites sur l'origine de la tourbe; mais, comme en général elles se rapportent aussi à la formation des lignites et de la houille, nous nous en occuperons en traitant de cette dernière substance.

---

(1) T.-A Catullo, *Trattato sopra la costituzione*, etc., Padoue, 1838.

(2) *Second report*, etc. Second rapport sur la géologie du Maine, p. 81. Augusta, 1838.

(3) *Boston Journ. nat. History*, vol. I, p. 1 et 338. 1837.

Digitized by Google

Appendice bibliographique.

A.-F. Wiegmann. — *Uber die Entstehung*, etc. Sur l'origine, la formation et la nature de la tourbe, in-8, Brunswick, 1837.

Oberlin et Buchner *jun.* — *Essai d'une histoire chimique de la tourbe, avec de nouvelles analyses de sa cendre* (*Répert. de pharm.*, par Buchner, vol. XLVI, p. 185-219. 1833).

Wakerling. — *Uber Torf*, etc. Sur la tourbe, son origine et sa reproduction, in-8. Zurich, 1839.

Pailliardi. — *Description du sol tourbeux près du bain de François, à Eger, avec l'indication du gîte de quelques uns de ses minéraux* (*Isis*, 1837, p. 437-440). L'auteur y cite : la reussine, le fer sulfaté, phosphaté et cuivreux, la sélénite et les infusoires *Navicula*, *Gallionella.*

J. Steenstrup. — *Sur la tourbe marine du Jutland septentrional* (*Tidssk. for natur. de Kroeyer*, vol. II, p. 495-518).

W.-A. Lampadius. — *Observations sur la formation de la tourbe* (*Journ. f. prakt. chem. de Erdman*, vol. I, p. 8).

Forchhammer. — *Sur la tourbe marine et la formation de la houille* (*Tidssk. for natur. de Kroeyer*, vol. II, p. 509, etc. — *Neu. Jahrb.*, 1841, p. 13-20).

K. Papius. — *Die Lehre vom Torf.* Traité de la tourbe, in-8. 1845.

L. Lesquereux. — *Quelques recherches sur les marais tourbeux en général*, in-4 (*Mém. Soc. des sc. nat. de Neuchâtel*, vol. III, p. 1, 1846).

Goeppert. — *Bois bituminisés dans les vallées d'Agger et de Wiehe (Silésie)* (*Arch. f. miner. de Karsten*, vol. XVIII, p. 527. 1844.)

§ 2. Produits organiques animaux.

Marnes coquillières.

M. W. Mather (1) a décrit les marnes coquillières d'eau douce formées dans les comtés de Columbia et de Dutchess (État de New-York) par l'accumulation, sur le fond des lacs et des étangs, d'une prodigieuse quantité de coquilles lacustres. Les générations successives augmentent journellement l'épaisseur de ces couches de marne blanche, dont l'étendue est aussi fort considérable. Lorsque, par suite de ce relèvement, le fond de l'étang n'est plus recouvert que de quelques pieds d'eau, les végétaux s'y développent et forment bientôt à leur tour une couche de tourbe qui recouvre la marne. Vers sa partie inférieure, cette tourbe renferme encore une grande quantité de coquilles lacustres semblables à celles dont

(1) *State of New-York.* Communication du gouverneur à l'assemblée du 20 fév. 1838 (*Rapport de M. Mather sur la géologie du 1er district*, p. 147).

Digitized by Google

les débris constituent la marne. Cette dernière est blanche et friable lorsqu'elle est sèche, onctueuse et plastique lorsqu'elle est humide. Ce procédé de la nature, dit M. Mather, peut s'observer particulièrement dans le lac de *Peat-marl*, à 4 milles au nord de Kinderhook. Son fond se relève graduellement par la décomposition de myriades de coquilles, et il avait autrefois une surface double de celle que les eaux occupent encore aujourd'hui. Les *Unio*, les Anodontes, les Lymnées, les Physes et les Planorbes, sont les coquilles qui contribuent particulièrement à la formation de la marne, employée comme un amendement très précieux pour l'agriculture, où elle remplace le plâtre. Le comté d'Onondago renferme aussi des dépôts coquilliers de ce genre, en voie de formation, et dans lesquels on pourrait recueillir des milliers de tonnes de coquilles décolorées (1).

Si l'on ajoute à ces faits, qui se présentent d'ailleurs sur bien d'autres points des États-Unis de l'Amérique du Nord, la prodigieuse variété de formes, les dimensions remarquables et l'incroyable multiplicité des individus que nous offre le genre *Unio* en particulier, dans les rivières de cette partie du globe, et surtout dans l'Ohio, on sera porté à se demander quelle est la cause de cette fécondité tout exceptionnelle de la nature, et quelles sont les circonstances environnantes qui peuvent y contribuer. Est-ce dans la composition des eaux, dans leur plus ou moins de profondeur, dans leur rapidité ou dans leur régime qu'il faut la chercher? Est-ce dans la nature du sol sur lequel elles coulent, dans la température ambiante ou dans la végétation aquatique que l'on peut espérer la trouver? Nous appelons sur ce sujet intéressant de géographie animale l'attention des naturalistes à portée de l'étudier.

Infusoires siliceux.

Si les coquilles fluviatiles et terrestres, par le peu d'épaisseur de leur test, ne forment que dans quelques circonstances particulières des dépôts au fond des rivières et des lacs, des animaux infiniment plus petits, et qui échappent même à notre vue, ne laissent pas que d'occasionner, par leur multiplication extraordinaire, des effets dont nous devons tenir compte à l'époque actuelle, de même que dans celles qui l'ont précédée. L'importance que cette étude a prise récemment est due surtout à M. Ehrenberg, qui, par suite de ses voyages et des communications qui lui ont été faites, a pu étudier les développements de la vie microscopique sur beaucoup

(1) Greenough, Discours annuel (*Proceed. geol. Soc. of London*, vol. II, p. 157).

Digitized by Google

de points du globe. Ses découvertes ont commencé par des dépôts un peu antérieurs à notre époque, mais il n'a pas tardé à les étendre au sol, pour ainsi dire, encore vivant, sur lequel repose la ville de Berlin, et ensuite au-delà.

La tourbe argileuse, à 7 mètres environ au-dessous du pavé de la capitale de la Prusse, est remplie d'infusoires parfaitement en vie. Cette couche se trouve à $2^{m},60$ au-dessous de la Sprée (1). On a trouvé dans cette même tourbe des Gallionelles jusqu'à 20 mètres de profondeur; les cellules en étaient remplies d'œufs verts, et ces animaux n'étaient ainsi en contact avec l'oxygène de l'air que par l'intermédiaire de l'eau qui humecte la tourbe. Les Navicules souterraines offrent quelquefois des mouvements spontanés, mais plus lents que ceux des Navicules de la surface du sol. Le plus grand nombre des formes de la couche souterraine ne se rencontre ni près de Berlin, ni dans la mer Baltique, mais on les retrouve près de Plieger, parmi les couches d'infusoires fossiles qui alternent avec des lignites et des strates de grès. Les aiguilles si caractéristiques des éponges marines, et qui abondent aussi dans cette tourbe, paraîtraient indiquer, pour ce dépôt singulier, une origine pélagique; mais d'un autre côté, l'état vivant des infusoires ne permet pas de le placer ailleurs que dans la période moderne.

M. Ehrenberg (2) signale, dans le pays de Lunebourg, une couche de débris d'infusoires dont beaucoup sont encore vivants, et qui n'a pas moins de 14 mètres d'épaisseur; mais elle paraît être plutôt un produit de source qu'un produit réellement lacustre ou fluviatile. Dans l'espace d'un siècle, il se serait déposé à Wismar, avec le *schlam* (3), 64,800 mètres cubes de corps organisés microscopiques siliceux, ou 648 mètres par an (4). Dans les ensablements de Pillau, il se sépare annuellement des eaux courantes de 7,200 à 14,400 mètres cubes de ces mêmes corps microscopiques, et dans un siècle, de 720,000 à 1,440,000 mètres cubes.

---

(1) *Comp. rend.*, vol. XIII, p. 897. 1841.

(2) *Acad. de Berlin*, oct. 1842. — *L'Institut*, 30 mars 1843. — *Bibl. univ. de Genève*, vol. LV, p. 387. 1843.

(3) Vase, boue des ports et de l'embouchure des rivières.

(4) Ehrenberg, *Observations sur le rôle important de l'organisme microscopique dans l'envasement des ports de Wismar et de Pillau, ainsi que dans la formation du* schlam, *qui se dépose dans le lit de l'Elbe, à Cuxhaven, et sur la présence de phénomènes identiques dans la formation du terrain du Nil, à Dongola en Nubie, et dans le Delta, en Egypte* (*Acad. de Berlin*, 15 mars 1841. — *L'Institut*, 19 août et 21 oct. 1841).

Digitized by Google

Il paraît donc bien avéré que les *schlams* des ports, l'accumulation et la fertilité du limon du Nil, et sans doute tous les dépôts fluviatiles, ne proviennent pas seulement de la destruction et du transport mécanique des parties solides de la surface désagrégée, mais encore de l'action productrice très remarquable d'animaux non discernables à la vue simple. Ainsi, en 1839, on a retiré du bassin du port de Swinemunde, à l'embouchure de l'Oder, 2,592,000, et en 1840, 1,728,000 pieds cubes de matières vaseuses, et la moitié ou le tiers au moins de ce volume se composait d'animaux microscopiques. La vase de la Vistule, près de Dantzig, le limon du Nil, d'Islande, du Labrador et du Spitzberg même, renferment des animaux microscopiques qui composent depuis 1/10 jusqu'à 1/2 de la masse sédimentaire.

Dans de *Nouvelles observations sur l'influence des corps organisés microscopiques marins sur le fond du lit de l'Elbe, jusqu'au-dessus de Hambourg* (1), le même savant a fait connaître que les animaux microscopiques marins remontent dans le fleuve aussi loin que la marée. L'encombrement du lit inférieur de l'Elbe est dû au mélange de l'eau salée et de l'eau douce qui occasionne la mort des animaux marins sur ce point, où leurs dépouilles s'accumulent. La terre des marais environnant l'embouchure du fleuve est le résultat de la même action. Souvent le test de ces animaux est mélangé de sable siliceux plus ou moins fin.

Un grand nombre de ces formes si abondantes sur les côtes et dans le sol cultivé et les marais, le long de la mer du Nord, aussi bien que sur son fond, manquent cependant sur les bords de la Baltique, dont le bassin pourrait n'avoir pas eu, dans les temps anciens, de communication plus directe qu'aujourd'hui avec l'Océan. Plusieurs de ces formes de la mer du Nord se retrouvent au contraire dans les vases marines et les rivières des environs de Liverpool et de Dublin, et beaucoup d'entre elles existent aussi dans la Méditerranée, quoiqu'en général les formes soient très distinctes.

Dans presque tous les marais du Jutland, de la Hollande, de la Flandre et de l'Angleterre (2), on trouve, à 5 ou 10 mètres de profondeur, un limon noir de 0,30 à 0,60 d'épaisseur, composé de

(1) *Acad. de Berlin*, juillet 1843. — *L'Institut*, 17 janv. 1844.
(2) Ehrenberg, *Nouvelles observations sur l'importance des animaux microscopiques dans les terrains à l'embouchure des fleuves, et en particulier de l'Elbe, du Jahde, de l'Ems et de l'Escaut.* (*Acad. de Berlin*, 16 nov. 1843. — *L'Institut*, 10 avril 1844.)

Digitized by Google

débris de plantes marines, de *Fucus*, de *Zostera*, avec 21 espèces d'animaux microscopiques marins, tant siliceux que calcaires. Dans les marais du Holstein, M. Ehrenberg signale encore 34 espèces, presque toutes vivantes dans la mer du Nord.

Une substance, appelée *ouate naturelle*, a été trouvée, au mois d'août 1839, dans le voisinage de Sabor en Silésie, après un débordement de l'Oder. Cette masse, qui avait plusieurs centaines de pieds carrés, était formée de *Conferva rivularis* et de *Navicularia* avec beaucoup de *Fragillaria*, en tout 15 espèces d'infusoires. La substance est composée particulièrement de charbon, d'une grande quantité de silice et de chaux carbonatée (1).

---

(1) Ehrenberg, *Extraits des Mém. de l'Acad. de Berlin*, trad. par M. Lalanne (*Ann. des mines*, 3e sér. vol. XVIII, p. 45. 1840. — *Acad. de Berlin*, 17 oct. 1839.—*L'Institut*, 16 avril 1840).— Voyez aussi : Christ. Keferstein, *Origine de toutes les masses compactes de la terre provenant des êtres organisés.* (*Litterar anzeig. christlich theolog. v. Wissensch. Uberhaupt de Tholuck*, 1838, p. 593-616). — Ehrenberg, *Die fossilen*, etc. Les infusoires fossiles et la terre végétale vivante, in-4. Berlin, 1837. — Rose, *Sur la silice et l'oxyde de fer des infusoires vivants et fossiles* (*Ber. ub. d. vers. deutsch. naturf in Prag*, p. 125). — S.-F. Stiebel, *Dépôt jaune de Gallionelles dans l'eau thermale salée de Soden* (*Mus. senkenbergian.*, vol. III, p. 81. 1839). — Id., *Die Grundformen*, etc. Les formes fondamentales des infusoires dans les eaux minérales, et observ. sur leur développement, in-4. Francfort-sur-le-Mein, 1841. — Ehrenberg, *Sur les infusoires vivants du Pérou et du Mexique* (*Akad. d. Wiss. zu Berlin*, 27 juin 1840; *L'Institut*, vol. IX, p. 15, 22. 1841). — Id., *Sur les espèces vivantes des infusoires de la craie.* L'auteur en signale 40 espèces (*Acad. de Berlin*, 13 avril et 17 oct. 1840; *L'Institut*, vol. VIII, p. 136 et 193, 1840; *Abh. d. k. Akad. d. Wiss. in Berlin*, pour 1839, vol. X, p. 81, 171, 1841). — Id. *Sur des animalcules de la formation crétacée existant encore dans la mer du Nord* (*Neu. Jahrb.*, 1840, p. 686) A part, gr. in-fol., avec planches. Berlin, 1841, — Id., *Observ. sur l'étendue géographique des animalcules encore vivants en Asie, en Australie et en Afrique* (*Acad. de Berlin*, 30 mars 1843, *L'Institut*, vol. XI, p. 401, 1843). — Id., *Verbreitung und Einfluss des mikroskopischen lebens.* Distribution et influence de la vie microscopique dans les deux Amériques, avec 4 pl. Berlin, 1843.— Id., *Nouvelles observ. sur l'influence des animaux microscopiques marins sur le lit de l'Elbe jusqu'à Hambourg* (*Acad. de Berlin*, juillet, 1843; *L'Institut*, vol. XII, p. 22, 1844). — Id., *Sur les petits animalcules de l'Océan, au pôle austral et dans les profondeurs de la mer* (*Monatsber. d. Berlin Akad.*, mai 1844, p. 29). — Id. *Observ. pour la connaissance des plus petits animalcules de la mer Égée, dans l'Euphrate et aux îles Bermudes* (*Ibid.*, juin 1844).

Digitized by Google

CHAPITRE V.

PRODUITS MARINS INORGANIQUES.

§ 1. Affaissements des côtes.

M. de La Bèche a rappelé avec beaucoup de détails, dans son *Rapport sur la géologie du Cornouailles, du Devonshire et du Somerset occidental* (1), l'action que la mer exerce le long des côtes de cette partie de l'Angleterre et les effets de l'influence atmosphérique qui sont généralement connus. Une lettre adressée au *Nautical magazine* (2), a signalé un mouvement de terrain très considérable qui s'était manifesté, le 24 décembre 1839, sur la côte d'Axmouth (Devonshire). Ce mouvement s'est produit parallèlement à la falaise, sur 1 mille de longueur et sur une largeur de plus de 100 mètres. Il a occasionné l'effondrement d'une partie des couches qui formaient la côte ou un abaissement de près de 68 mètres, tandis que la portion du rivage immergé qui lui est contiguë paraît avoir été soulevée de 15 mètres au-dessus du niveau de la mer, et jusqu'à une assez grande distance de la côte, formant ainsi des îles et des récifs, là où il n'en existait pas auparavant. Plus tard, MM. Conybeare et Dawson (3) ont publié un mémoire et des dessins relatifs à ce même affaissement des falaises de Bendon et de Dowlands, qui a si fortement dérangé les couches de la craie et celles du grès vert qui les supportent. Ces géologues, après avoir rappelé un certain nombre d'accidents du même genre, qui ont eu lieu soit sur les côtes voisines, soit hors de l'Angleterre, pensent que, sans avoir aucun rapport avec des secousses de tremblements de terre, ces effets résultent de l'entraînement, dans la mer ou sur la plage, des couches sableuses meubles reposant sur des couches imperméables, par suite de l'action des eaux qui filtrent à travers les couches poreuses supérieures dont le haut de la falaise est formé.

---

(1) *Report on the geology*, etc., in-8, avec cartes et coupes. Londres, 1839.

(2) *Bull. de la Soc. de géographie*, vol. XIII, p. 114.

(3) *Memoir and views of landslip*, etc., in-fol., 10 pl. de vues et de coupes. Londres, 1840.

Digitized by Google

M. J.-M'Adam (1) a donné aussi la relation d'un affaissement du sol qui s'est manifesté près de Larne, dans le comté d'Antrim, et M. W. Logan (2) a décrit plusieurs accidents du même genre dans les dépôts modernes de la vallée du Saint-Laurent dans l'Amérique septentrionale.

M. Ed. Hitchcock (3) a fait connaître les effets produits par l'action de la mer sur les côtes du Massachusetts, où elle détruit des falaises formées par le dépôt diluvien et transporte ces matériaux sur un autre point, par suite de la direction que les vents impriment aux vagues. Nulle part, peut-être, on n'observe d'exemples plus frappants de l'action destructive de la mer que sur les côtes de la Nouvelle-Écosse, de l'état du Maine et de celui de Massachusetts. Portland et les îles qui en dépendent en offrent de particulièrement remarquables.

Quant à l'action générale des vagues sur les côtes, nous ne pouvons que renvoyer aux *Recherches sur la partie théorique de la géologie* (4), par M. de La Bèche, et à son *Manuel de géologie* (5).

§ 2. Alluvions marines et bancs de sable.

France. Un examen détaillé des sables de la baie de Saint-Michel (département de la Manche) a été fait par M. Marchal (6), et il résulte de ses analyses que le chlorure de sodium n'est point la substance accessoire dominante dans ces sables, connus sous le nom de *tangue* et fort en usage dans le pays pour amender les terres. Les éléments qui les constituent proviennent de la destruction des granites des environs et de matières d'origine animale. Quant à leur mode de formation, l'auteur pense que la mer, dans son mouvement rapide à la marée montante, entre dans les rivières chargées de matières très fines, et choque une masse d'eau animée d'une vitesse contraire. Il y a alors diminution de vitesse, et le mélange de l'eau douce, affaiblissant la densité de l'eau de mer, diminue également son pouvoir de suspension, et la précipitation des matières ténues

---

(1) *Journ. geol. Soc. of Dublin*, vol. I, part. II, p. 100. 1834.
(2) *Proceed. geol. Soc. of London*, vol. III, p. 766.
(3) *Boston Journ. of natur. History*, vol. I, p. 74 et 342. 1837.
(4) Trad. française, p. 40.
(5) Trad. française, p. 88.
(6) *Rapport sur l'analyse chimique des sables de la baie de St-Michel* (*Ann. des mines*, 4e sér., vol. I, p. 503).

Digitized by Google

se trouve ainsi doublement favorisée. La proportion du carbonate de chaux étant toujours considérable, on peut présumer que c'est à son action plutôt qu'à celle des sels déliquescents que la *tangue* doit ses propriétés lorsqu'elle est répandue sur des terres froides dont le *sous-sol* est formé de schistes. M. Marchal attribue l'origine du carbonate de chaux à des détritus de coquilles, les rivières qui coulent dans la baie ne traversant pas de couches calcaires. Nous ferons remarquer à cet égard que les coquilles ne sont pas plus abondantes dans ces parages qu'ailleurs ; elles le sont même beaucoup moins que sur une infinité de points où le sable de la plage n'offre pas les propriétés qui le rendent si précieux sur toute la côte occidentale du Cotentin ; il est donc probable qu'il existe une autre cause que celle indiquée par l'auteur.

M. Élie de Beaumont (1), à la sagacité duquel les moindres résultats, même négatifs, n'échappent pas, a fort bien observé que cette plage sablonneuse de la baie de Saint-Michel n'était pas bordée de dunes, ce qui paraissait tenir à certaines propriétés particulières du sable qui la compose. Celui-ci est assez ferme quand il est au-dessus de l'eau, et très mobile, au contraire, dès qu'il est baigné par la mer. Il en est de même de la plage du Grand-Vey, près d'Isigny. Comme le sable des dunes n'est pas susceptible d'être employé pour amender les terres, on voit, dit M. Élie de Beaumont, que la *tangue* doit présenter une différence essentielle dans sa composition.

M. T. A. Catullo (2) a décrit une roche grisâtre, plus ou moins arénacée, composée de sable fin agglutiné par un ciment argilo-ferrugineux et nommé *caranto marino*. Elle constitue une couche de quelques mètres d'épaisseur, recouvrant les calcaires des bas-fonds, et elle renferme les coquilles actuelles du littoral, encore ornées de leurs couleurs, ainsi que des morceaux de fer travaillé. Les éléments de cette roche sont apportés par les rivières qui descendent des Alpes, et sa solidification a lieu comme on l'observe sur beaucoup d'autres plages. Italie.

Le même savant rappelle ensuite qu'il y a un courant qui remonte parallèlement à la côte, depuis la partie orientale de Corfou jusqu'à

(1) *Leçons de géologie pratique*, vol. I, p. 200, 1845.
(2) *Trattato sopra la costituzione*, etc. Traité sur la constitution géognostico-physique, etc., des provinces Vénitiennes, in-8. Padoue, 1838.

Digitized by Google

la Dalmatie et à l'Istrie ; s'inclinant au-delà vers le Frioul par la marche Trévisane, il se dirige au S. par la province de Venise, la Romagne et toute la côte occidentale de la mer Adriatique. C'est par la direction de ce courant que les matériaux amenés par les fleuves sont ensuite portés de l'E. à l'O., comme Olivi l'avait depuis longtemps remarqué. Ce dernier avait distingué en outre sur les côtes de l'Adriatique une plage de sable très peu inclinée, s'étendant jusqu'à 1 mille en mer, et au-delà de laquelle le fond devient tourbeux. Ce fond se prolonge d'autant plus loin vers le centre du golfe, que l'on descend davantage le long de la côte occidentale vers Rimini, Ancône, etc. A ce dépôt succède le calcaire solide, quelquefois situé à une plus grande profondeur.

M. le comte D. Paoli (1), qui s'est aussi occupé de cette question, a conclu, au contraire, comme M. Lombardini (2), que l'atterrissement, et par suite l'éloignement de la mer du rivage, dépendait surtout des flots qui, par les vents de *sirocco* et de l'E. soufflant sur cette même côte, tendent à porter de droite à gauche les divers sédiments des fleuves, et à vaincre l'action du courant marin (*moto radente*). Les plus grands atterrissements s'observent là où les fleuves transportent seulement de la terre et des sables fins, comme dans la basse Romagne, car les flots les soulèvent plus facilement que les graviers pour les rejeter sur la plage. Les villes de Rimini, de Pesaro, de Fano, et de Sinigaglia, bâties dans l'origine sur le rivage, s'en trouvent aujourd'hui éloignées par cette cause sans cesse agissante.

Dans son *Essai comparatif des terrains qui composent le sol de l'Italie* (3), M. L. Pilla a également rappelé la formation de ces alluvions marines, fréquentes sur les côtes de la Péninsule, et qui ont placé dans les terres des villes autrefois sur le littoral, telles que Ravenne, Adria, Pise et Ostie. D'après le même géologue, les grès récents de Messine seraient aussi de l'époque actuelle.

Côtes de la mer d'Azof.

En s'appuyant sur les textes de Constantin Porphyrogénète, de

---

(1) *Fatti per servire alla storia*, etc. Faits pour servir à l'histoire des changements survenus sur la côte d'Italie, de Ravenne à Ancône, communiqués à la 3e réunion des savants italiens. Florence, 1842.

(2) *Intorno al sistema idraulico del Pò*, etc. Milano, 1840, p. 28.

(3) *Saggio comparativo*, etc. Pisa, 1845.

Strabon et de Pomponius Mela, M. G. Platé (1) s'est attaché à démontrer l'existence ancienne d'un second détroit, nommé Bourlik, et qui donnait issue aux eaux de la mer d'Azof dans la mer Noire. M. Dubois de Montpéreux (2) admet bien aussi cet ancien canal, mais il le place au nord-ouest de Temrouk dans l'isthme de ce nom, entre le lac de Temrouk au S.-O. et le golfe au N.-E., tandis que M. Platé pense qu'il se trouvait directement entre la mer d'Azof et la baie de Taman, à l'isthme de Khoum. La disparition du canal serait due aux sables apportés par le courant de la mer d'Azof et par le soulèvement du sol, provenant d'une cause volcanique, tel que l'île qui s'éleva en 1799 sur la côte de Temrouk, et qui disparut ensuite. Enfin M. Platé appuie encore son opinion de la fermeture de ce canal, depuis Constantin Porphyrogénète, sur la disposition de certains tombeaux Tcherkesses, relativement à l'espace sableux, aride, qu'il présume être l'ancien lit du canal, les Tcherkesses n'ayant pris possession de l'île de Taman que vers le XI[e] siècle.

M. Leplay (3), qui a étudié aussi les dépôts de transport récents, et en particulier les ensablements des côtes nord et ouest de la mer d'Azof, en a signalé, à l'ouest de Taman, qui paraissent être très modernes. M. J.-J. Huot (4) a décrit également les sédiments vaseux et sableux dus à l'action des cours d'eau, des vents et de la mer, et qui ont modifié à la longue les contours des côtes de la Russie méridionale et de la Crimée. Ces bancs de sable ont formé des lacs salés qui servent à l'exploitation du sel. Comme la profondeur de ces derniers ne dépasse pas 1 mètre, et qu'ils fournissent annuellement une très grande quantité de sel, on suppose qu'ils reçoivent par infiltration l'eau de la mer, dont le niveau est le même que celui du fond des lacs. Les divers degrés de salure de ceux-ci dépendraient alors de leur communication plus ou moins complète ou plus ou moins directe avec la mer. Le sel se précipite au fond en plaques solides, formées de cristaux cubiques quelquefois assez nets et adhérents les uns aux autres.

M. Reynaud a donné des détails intéressants *sur la partie de la* Amérique du Sud.

(1) *Dissertation concernant les fleuves du Palus-Méotide* (*Bull. de la Soc. de géographie*, vol. XVIII, p. 305. 1842).
(2) *Voyage autour du Caucase*, etc.
(3) *Voyage dans la Russie méridionale*, sous la direction de M. A. de Demidoff, vol. IV, p. 172.
(4) *Ibid.*, vol. II, p. 470.

Digitized by Google

Guyane qui s'étend entre l'Oyapok et l'Amazone (1). De vastes dépôts d'alluvion occupent le rivage entre ces deux fleuves, et s'étendent jusqu'à 8 ou 10 lieues de la côte, où des collines granitiques forment leur limite. Celles-ci constituent aussi des buttes isolées, perçant çà et là au milieu de la plaine alluviale et des savanes. Il en est de même dans l'île de Brigues, à la partie nord de l'embouchure de l'Amazone, et dans celles de Mischians, de Marajo, de Cavians et peut-être de Maraca. Ces îlots granitiques, d'abord séparés les uns des autres, formaient un petit archipel en avant de la côte; mais ils ont été successivement reliés entre eux par les grandes alluvions des fleuves, et ils font aujourd'hui partie d'un immense delta.

La bande de terrain alluvial qui s'étend uniformément de la baie d'Oyapok à l'embouchure de l'Amazone est composée d'une argile fine apportée par les rivières, et surtout par ce dernier fleuve Les courants faisant remonter ses eaux vers le N., c'est aussi dans cette direction que se sont déposés les sédiments modernes. Ceux-ci représentent le delta, qui, dans une mer tranquille, aurait formé une saillie régulière en avant de la côte. M. Reynaud, ayant trouvé une plage de sable avec des coquilles marines sur les bords de l'Ouessa, à 10 lieues au-dessus de son embouchure, pense que toute l'étendue comprise entre ce point et la mer est le résultat d'un ensablement, qui aurait ainsi gagné sur la mer, depuis le commencement de la période actuelle.

Ces alluvions sont en général élevées de plusieurs mètres audessus des grandes marées, ce qui peut résulter, soit des débordements des rivières, soit d'un soulèvement de la plage, soit même de ces deux causes réunies. Une partie d'ailleurs de ces terres est submergée après les grandes pluies ou lors des très hautes marées. Malgré le peu d'exactitude et de concordance des cartes du pays, on peut remarquer cependant que les îles plates de la côte sont sensiblement plus grandes que ne l'indiquent les plus anciennes de ces cartes, ce qui porterait à admettre leur accroissement continu par suite de l'accumulation des sédiments charriés et déposés par les eaux des rivières. Jusqu'à 2 lieues en mer, la profondeur de l'eau ne dépasse pas 2 à 3 brasses ; à 5 ou 6 lieues, on ne trouve encore que 9 à 10 brasses d'eau; enfin, à 40 lieues du continent, on trouve seulement une profondeur de 35 brasses. On conçoit qu'une pa-

(1) *Bull. de la Soc. de géographie*, 2e sér., vol. XI, p. 6. 1839.

Digitized by Google

reille disposition du sol sous-marin doit favoriser la formation de nouvelles terres par les limons apportés de l'intérieur, et qu'avec une inclinaison aussi faible il suffirait de la plus légère variation dans la courbure du sol pour mettre au jour de nouvelles îles.

M. E. Robert (1), à la suite de son second voyage à bord de la corvette *la Recherche*, a publié aussi quelques observations sur la formation des plaines littorales de la Guyane et sur l'étendue des alluvions de l'Amazone.

§ 3. Dunes.

Au fond du golfe de Fosvoog, il y a, dit M. E. Robert (2), une portion de la côte composée de tuf volcanique endurci et empâtant de Myes, des Ostracées silicifiées et des Balanes dont les espèces identiques vivent encore dans le voisinage; et ce géologue a attribué leur niveau actuel, bien au-dessus de la mer, à l'action énergique des vents dans ces parages. Il rapporte encore à la même cause les dunes composées de sable coquillier. Entre Budun et Stappen, il se forme actuellement un dépôt par l'action du fer sur les sables, où se trouvent engagés des bois flottés. D'après M. Robert, ces bois, qui échouent chaque année sur les côtes de l'île, proviendraient au moins de deux continents différents. Ils paraissent atteindre les mers du Nord dans un assez bon état de conservation; mais, une fois engagés dans les glaces, ce n'est plus que privés de branches, de racines et d'écorce qu'ils sont rejetés sur les plages. Parmi ces bois flottés, le plus commun est l'acajou. Un des principaux gisements de *sorturbrand* ou lignite que décrit l'auteur, et qui a 5 mètres d'épaisseur sur 20 de long, serait encore, malgré son élévation au-dessus de la mer, le résultat d'une accumulation de bois analogue à celles qui ont lieu aujourd'hui sur la côte. Islande.

Les dunes de Danemark ont été étudiées par M. Forchhammer (3), particulièrement de l'embouchure de l'Eider jusqu'à la pointe nord Danemark.

(1) *Bull.*, vol. VII, p. 184. 1836.
(2) *Ibid.* p. 5.
(3) *Edinb. new philos. Journ.*, juillet 1841. — *Bibl. univ. de Genève*, vol. XXXV, p. 166. — Voyez aussi, G. Forchhammer, *Études géognostiques sur les bords de la mer danoise* (*Neu. Jahrb*, 1841 p. 38, pl. 3). — *Sur l'envahissement du sol par les dunes dans le Sylt, en Jutland* (*Neu. Jahrb.*, 1839, p. 304-305), et la *Statistique de la monarchie danoise* (*Den danske Stats Statistik*), par M. Ad.-Fr. Bergsöe, vol. I. Copenhague, 1844?

Digitized by Google

du Jutland. Toute la côte occidentale est formée par deux rangées de dunes, l'une intérieure, qui indique l'ancien rivage de la mer avant les temps historiques ; l'autre, qui forme le bord actuel de l'Océan. L'auteur décrit la formation de ces monticules par les vents, et fait voir que leurs couches se stratifient encore à une hauteur de 32 mètres au-dessus de la mer, de telle sorte qu'on les croirait déposées sous l'eau. Il mentionne également les lits de combustible, dus à des tourbières ensevelies sous les sables des dunes. Ainsi, au nord du Jutland, on voit un de ces lits tourbeux enfouis (*martow*) s'étendre comme une raie noire sur plus de cinq milles de long. Le pied cube de la tourbe ordinaire ne pèse que 16 à 20 livres, tandis que celui de la tourbe comprimée par les sables pèse jusqu'à 78 livres. Souvent plusieurs de ces bancs de tourbe sont séparés par des bancs de sable parfaitement horizontaux ; dans d'autres cas, la tourbe repose sur un lit de poudre siliceuse semblable à celle des tourbières actuelles du Danemark, et qui est composée de débris d'infusoires. L'étude de ces dépôts sableux et tourbeux pourra sans doute jeter quelque lumière sur le mode de formation des autres amas de combustible, tels que les lignites et les houilles.

Angleterre. Pays-Bas. France.

Dans ses *Leçons de géologie pratique* (1), M. Élie de Beaumont a traité des dunes des bords de la mer, de leur formation et de leur marche envahissante ; il a signalé entre autres celles du Cornouailles et du département de la Manche, puis celles de Saint-Pol-de-Léon (Finistère), qui, d'après certains documents, se seraient avancées de 6 lieues en cinquante ans ou de 537 mètres par année. Après avoir rappelé les divers massifs de ces accumulations sableuses sur les côtes de France, d'Angleterre et des Pays-Bas, ainsi que leur action pour obstruer l'entrée des rivières et donner lieu, par suite, à la formation d'étangs ou de lagunes, il fait remarquer que déjà Deluc et Cuvier avaient vu dans les dunes une sorte de chronomètre, un immense *sablier naturel*, et il pense, d'après l'aspect général du phénomène, qu'elles remontent presque toutes à la même époque, c'est-à-dire au commencement de la nôtre. Celle-ci, par cette raison, pourrait être appelée l'*ère des dunes*. Depuis leur origine, l'état de la surface du globe ne paraît pas avoir subi de changement ; ainsi le peu de largeur de la bande qu'elles occupent,

---

(1) Vol. I., p. 195. 1845—Voyez aussi : Duvaux, *Des sables ou dunes de la Loire-Inférieure* (*Ann. de la Soc. acad. de Nantes*, vol. XIV, p. 46).

Digitized by Google

relativement à son extension incessante, semble prouver que le moment où le phénomène a commencé n'est peut-être pas très reculé; « et si nous comparons, dit M. Élie de Beaumont, ce résultat avec » celui des observations relatives à la végétation, nous voyons qu'il » y a certains végétaux dont deux vies successives forment un total » aussi long que toute l'ère des dunes; peut-être même y a-t-il des » végétaux aussi anciens que le commencement des dunes actuelles. C'est dans ce cadre extrêmement simple que se trouve » renfermée toute l'histoire des hommes. »

A partir de Hassan-Kouli, sur la rive orientale de la mer Caspienne, on trouve trois rangées de dunes parallèles qui défendent la côte contre l'envahissement de la mer pendant les vents d'ouest. Ces digues naturelles sont espacées de 500 mètres. La première, qui est la plus élevée, atteint $7^m,50$ de hauteur. M. Felkner (1) attribue leur formation au retrait périodique des eaux dont nous avons parlé précédemment. Au-delà des dunes, l'intérieur du pays n'offre, sur un espace immense, qu'une steppe nue, sablonneuse et presque dépourvue de verdure. Asie.

M. Newbold, dans son *Résumé de la géologie de l'Inde méridionale* (2), a donné quelques détails sur les alluvions modernes, les sables et les dunes de cette partie de l'Asie. Les côtes de la mer Rouge, dit-il ailleurs (3), et celles de la Méditerranée sont quelquefois occupées par des dunes provenant de bancs de sable accumulés par les vagues et repoussés aussi par les vents. Il attribue le sable des déserts et leur empiétement aux vents d'O. et de N.-O., qui soufflent pendant neuf mois de l'année, ainsi qu'aux tourbillons qui se forment dans la saison chaude, et qui transportent non seulement les parties fines du sable, mais encore des graines et des coquilles marines, fluviatiles et terrestres (4).

Les dépôts modernes constituent, d'après M. W.-B. Clarke (5), Afrique méridionale.

---

(1) *Annuaire du Journ. des mines de Russie*, vol. V, p. 146. 1840.
(2) P. 85. 1845.
(3) *On the geology of Egypte*, etc. Sur la géologie de l'Égypte, etc. (*Proceed. geol. Soc. of London*, vol. III, p. 782).
(4) Voyez aussi F. de Persigny, *De la destination et de l'utilité permanente des pyramides d'Égypte et de Nubie contre les irruptions sablonneuses du désert*, in-8, 256 p. 6 pl. Paris, 1845.
(5) *On the geological phænomena*, etc. Sur les phénomènes géologiques dans le voisinage de la ville du Cap (*Proceed. geol. soc of London*, vol. III, p. 418).

Digitized by Google

des dunes le long de la côte, au pied de la montagne Bleue, puis des digues de sable sur le cap Flate. Des sables de même origine se voient également sur la pente du promontoire vers Constantia. Ces accumulations ont une forme allongée, et leur hauteur varie de 10 à 25 mètres.

Amérique du Nord.

Dans le Maryland, M. J.-J. Ducatel (1) cite le *Sinepuxent-Sound*, dont les eaux, il y a peu d'années encore, étaient en communication avec la mer par des canaux et nourrissaient une nombreuse population d'Huîtres, de Pectoncles, de Peignes et d'autres coquilles marines ; mais, ces canaux ayant été obstrués par les sables, la communication a été interrompue, tous les mollusques ont péri, et leurs dépouilles se sont accumulées sur le fond du lac peu profond qui existe aujourd'hui. Au cap Cod, sur les côtes du Massachusetts, il y a des dunes de 20 à 30 mètres de hauteur, et dont on a arrêté la marche par des plantations. D'autres dunes moins considérables existent dans la vallée du Connecticut et s'avancent lentement vers le S.-E. (2).

Amérique du Sud.

La côte nord de Bahia-Blanca, située à 4° au sud de l'embouchure de la Plata, est formée, dit M. Darwin (3), d'immenses dunes de sable qui reposent sur un gravier coquillier, et s'étendent en formant des lignes parallèles à la côte. Ces chaînes de monticules sont séparées les unes des autres par des espaces plats et composés d'argile rouge impure, dans laquelle se trouvent quelques coquilles marines. Les dunes s'étendent jusqu'à plusieurs milles dans les terres, et dominent une plaine qui s'abaisse jusqu'à 50 ou 60 mètres au-dessus de la mer. Aussi, d'après ce que l'auteur rapporte de leur formation, ces dunes paraissent-elles ne pas appartenir à l'époque actuelle.

§ 4. Deltas et alluvions des rivières qui les produisent.

Angleterre.

M. Sedgwick (4) a récemment décrit les changements survenus dans le district marécageux qui s'étend au nord de Cambridge jusqu'à la mer, changements qui doivent être attribués, soit aux sédiments

---

(1) *Report of the geol. of Maryland.* Rapport sur la géologie de l'État de Maryland, p. 39. 1836.

(2) Hitchcock (*Boston Journ. nat. History*, vol. I, p. 79. 1837).

(3) *Geological observations on the South America.* Observations géologiques sur l'Amérique du Sud, in-8, p. 4. Londres, 1846.

(4) *On the geology*, etc. Sur la géologie des environs de Cambridge (*Rep. 15th Meet. brit. Assoc.*, p. 43. Londres, 1846).

Digitized by Google

déposés par les rivières à leur embouchure, soit aux travaux des habitants.

Lors de la débâcle des glaces au printemps, les rivières, prodigieusement gonflées, entraînent une immense quantité de sédiments dans la mer Caspienne, la mer Noire et la mer d'Azof, et l'on ne doit pas être étonné de trouver des différences si considérables entre l'état actuel de l'embouchure de ces rivières et celui des premiers temps où les hommes vinrent s'y établir. Ainsi les coquilles d'eau douce, communes dans le Volga, ont été rencontrées à près de 100 mètres au-dessous de la ville d'Astrakhan, bâtie sur l'alluvion de ce fleuve; et le rivage de la Caspienne tend constamment à envahir le domaine des eaux, dont le fond se relève aussi sensiblement. Il en est de même à l'embouchure du Don, où de nouvelles terres se forment si rapidement que depuis que le port de Taganrog a été fondé par l'impératrice Catherine, l'envasement qui s'est produit ne permet plus aux grands vaisseaux d'approcher qu'à 11 kilomètres de leur ancien ancrage. Les bouches du Dnieper présentent encore des faits analogues (1). Russie.

D'après les observations de MM. Hamilton et Strickland (2), les côtes de l'Asie mineure offrent beaucoup d'exemples de changements produits par les alluvions des rivières. Les dépôts formés par le Méandre étaient déjà assez considérables pour avoir attiré l'attention de Strabon. Depuis lors, l'île de Lade, près de laquelle un combat naval avait eu lieu entre les Perses et les Ioniens, est devenue une colline au milieu d'une plaine. Le golfe Latmie s'est changé en lac intérieur, et la ville de Milet, autrefois si florissante, a perdu son commerce par cette cause, et n'est plus aujourd'hui qu'un monceau de ruines. Asie mineure.

L'alluvion du Cayster a réduit Éphèse au même état que Milet. Son port, centre de commerce et de civilisation, est actuellement un marais stagnant, séparé de la mer par une plaine marécageuse qui infecte de la *malaria* les pays environnants. Une pareille destinée attend peut-être aussi la florissante Smyrne; car le delta de l'Hermus avance rapidement à travers le golfe; un étroit canal est à présent ouvert à la navigation, et peu de siècles suffiront pour amener cette cité populeuse au point où nous voyons de nos jours

---

(1) Murchison, de Verneuil et le comte de Keyserling, *Russia and Ural mountains*, vol. I, p. 173.

(2) *On the geology*, etc. Sur la géologie de la partie occidentale de l'Asie mineure (*Transac. geol. Soc. of London*, vol. VI, p. 1. 1841).

Digitized by Google

Ephèse et Milet. D'après ce que nous apprend M. Viquesnel, les sables envahissent le port et le golfe d'Énos (Roumélie) et doivent ruiner dans peu le commerce de cette ville.

MM. Spratt et Ed. Forbes (1) décrivent aussi le port de l'ancienne ville de Patara comme étant encombré par une accumulation de sable; et Cannus, port de mer au temps de Strabon, se trouve actuellement à deux milles dans les terres. Son port est devenu un lac dont les eaux douces s'écoulent dans la mer. D'autres marais ou lagunes se sont formés par les sables amoncelés à l'entrée des rivières. L'eau en est d'abord salée ; mais si la barre persiste assez longtemps, cette eau devient douce et se peuple de mollusques lacustres. C'est ainsi qu'à Macri, où des changements de ce genre ont eu lieu dans les temps historiques, les lagunes sont remplies de myriades de *Cerithium mamillatum*, espèce qui peut supporter de grands changements dans la nature de l'élément où elle vit. Ces alternances d'eau salée, saumâtre ou douce, doivent produire sans doute des dépôts de caractères différents; aussi M. Forbes dit-il que l'histoire de la vie sur notre globe, ou l'origine de chaque espèce nouvelle et la disparition des anciennes, n'est que l'histoire des soulèvements et des abaissements, ainsi que de circonstances temporaires, variées par un bouleversement accidentel, différant seulement en intensité de ceux qui ont déterminé les caractères zoologiques des côtes de la Lycie.

L'absence de marées dans la Méditerranée paraît être la cause de l'extension rapide qu'ont prise ces dépôts alluviens dans les temps historiques. Les baies et les estuaires n'étant point balayés par le flux et le reflux journalier des eaux, les matières apportées par les rivières se déposent à leur embouchure, et leur delta est ainsi poussé dans la mer avec une vitesse dont il n'y a point d'exemples dans l'Océan, où la marée se fait sentir.

Perse. Des effets analogues ont lieu sur la côte méridionale de la Caspienne. M. Bell (2) rapporte que d'innombrables troncs d'arbres sont à demi enveloppés dans la boue et le sable, à l'embouchure des rivières, qui les amènent à l'époque des grandes eaux. La quantité de végétaux ainsi charriés chaque année paraît être très considérable. Près du rivage, l'eau est assez douce pour que les

(1) *Travels in Lycia*, etc., 2 vol. in-8. Londres, 1846. — *Address delivered*, etc., 17 fév. 1847, par M. L. Horner (*Quart. Journ. geol. Soc. of London*, vol. IV, p. 45).

(2) *Geological notes*, etc. Notes géologiques sur une partie du Mazandéran (*Transac. geol. Soc. of London*, vol. V, p. 579. 1838).

Digitized by Google

chevaux puissent la boire, et les coquilles y sont principalement lacustres. Certaines lignes, que l'on pourrait prendre pour l'indication de marées sur la côte, sont produites par les vents qui soufflent assez longtemps dans la même direction. Par suite des pluies et des fontes de neiges, comme nous l'avons vu pour la côte nord-ouest, la plage sud-est de la Caspienne est bientôt remplie de sédiments apportés au printemps et à l'automne, et la quantité en est telle que les eaux sont troubles jusqu'à 6 milles de la terre. Les eaux sont d'ailleurs si peu profondes près du rivage, que les bâtiments de 120 tonneaux sont obligés de jeter l'ancre à 2 ou 3 lieues de la côte. Cette disposition jointe à l'absence complète de marée contribue à relever rapidement le fond de ce bassin.

Si nous passons aux effets produits par les grands fleuves de l'Inde, nous trouverons que le dépôt alluvial ou récent du pays de Cutch est composé de détritus des collines ou des terres environnantes. Toute la province au sud des collines volcaniques peut être considérée comme recouverte par cette alluvion. Les landes et les dunes de la côte paraissent gagner sur la mer. A Madavee, port principal de la province, le rivage s'est avancé, dit-on, de 3 milles depuis les temps historiques. Des surfaces de plusieurs milles en avant de la côte sont couvertes d'arbrisseaux. A la basse mer, ces plantes sont à sec jusqu'à leurs racines; mais à la haute mer, rapporte M. Grant (1), à peine les branches supérieures sont-elles visibles. Ces arbrisseaux croissent très vite; les branches inférieures et les troncs sont couverts de crustacés et de mollusques, tandis que de nombreux oiseaux de mer occupent les branches les plus élevées. Ces forêts à demi submergées facilitent l'ensablement des rivages, en empêchant le limon des rivières de se porter au-delà. En outre, les pluies torrentielles qui tombent sur les montagnes tendent sans cesse à les dégrader et à modifier la surface de la plaine qui les borde, par le transport des matières qui leur sont arrachées. Inde.

Les essais entrepris par le docteur Lord (2) pour jauger l'Indus et les cinq rivières du Penjab l'ont porté à admettre, en nombre rond, que la quantité moyenne d'eau qui s'écoule dans ce fleuve en une seconde est de 300,000 pieds cubes. En évaluant à $\frac{1}{500}$ la proportion de limon contenue, on trouve que, pour les sept mois d'observa-

(1) *Memoir to illustrate*, etc. Mém. pour accompagner la carte géologique du pays de Cutch. (*Transac. geol. soc. of London*, vol. V, p. 304. 1837).

(2) Alex. Burnes, *Récit d'un voyage et d'un séjour à Caboul* (*The Athenæum*, 14. 1842).

Digitized by Google

tion, le fleuve aurait charrié 300 pieds cubes de limon par seconde, ou une quantité qui suffirait pour former une île de 42 milles de long, de 27 de large, et de 40 pieds de profondeur.

Le Gange, d'après les calculs de M. Everest (1), aurait déposé dans la mer, pendant l'année 1831, environ 6,368,077,440 pieds cubes anglais de matières terreuses, le volume du limon, dans les temps de pluie, étant $\frac{1}{856}$ de celui de l'eau qui le tient en suspension, ou 2 pouces cubes pour 3 pieds cubes. On voit combien cette proportion est considérable relativement à celle du limon du Rhin, par exemple, qui n'est dans les grandes crues que de $\frac{1}{12500}$ du volume d'eau (*antè*, p. 309). La vaste plaine du Bengale n'est d'ailleurs que le résultat de ce dépôt continu. Les bouches nombreuses, par lesquelles les eaux du Gange arrivent à la mer, sont des chenaux plus ou moins accessibles aux navires. Le fond, dit M. E. Chevalier (2), en est généralement formé de marnes bleues ou jaunâtres ; tandis que, sur les bancs, le fond est dur et la sonde rapporte du sable. Vers le centre de l'espace où les matières alluviales ont relevé le lit de l'Océan, se trouve une portion de la mer de 5 ou 6 lieues de longueur sur 3 ou 4 de largeur, et où le fond n'a jamais été atteint. C'est le *trou sans fond* des cartes, anomalie remarquable qui n'a pas encore reçu d'explication satisfaisante.

L'avancement des terres à l'entrée du golfe Persique paraît être aussi un fait incontestable, d'après les observations de M. Ch.-T. Beke (3).

Afrique. Égypte. Les alluvions du Nil ont été, de tout temps, un sujet du plus haut intérêt. La périodicité des crues du fleuve et surtout l'effet du limon déposé par ses eaux, combiné avec ceux des tempêtes de sable que soulève le vent du désert, font de la vallée de l'Égypte un lieu presque unique sur le globe pour l'étude de ces phénomènes. Dans son esquisse géologique de l'Égypte (4), M. Newbold a fait voir que l'alluvion du fleuve auquel le pays doit sa richesse varie de nature avec les formations sur lesquelles il coule, et que,

(1) *Observations de géographie physique sur le Gange* (*Bibl. univ. de Genève*, vol. LV, p. 47. 1834).

(2) *Géologie et minéralogie* du voyage de *la Bonite*, p. 324. Paris, 1844.

(3) *On the geological evidence*, etc. Sur l'évidence géologique de l'avancement des terres à la pointe du golfe Persique (*London and Edinb. phil. Magaz.*, vol. VII, p. 40. 1835). — Voyez aussi les observations de M. Carter (*Ibid.*, p. 192).

(4) *On the geology of Egypte*. Sur la géologie de l'Égypte (*Proceed. geol. Soc. of London*, vol. III, p. 782).

Digitized by Google

par conséquent, elle ne résulte pas seulement de matières apportées de l'Abyssinie. Au-dessus de Thèbes, dans la Haute-Égypte, l'alluvion renferme plus de silice et moins de calcaire et d'argile qu'aux environs du Caire et dans le delta, où elle recouvre de grandes couches calcaires. Elle varie également dans sa texture et sa composition, suivant la place qu'elle occupe par rapport au lit principal du fleuve et à la vitesse du courant.

Quoique l'on ne connaisse pas exactement la quantité de l'alluvion au centre de la vallée ou dans le lit même du fleuve, l'examen des parties les plus voisines du courant a fait reconnaître, dans la haute Égypte, une épaisseur de 13 mètres, dans l'Égypte du milieu, 10 mètres, tandis qu'au sommet du delta, elle n'aurait que 6 mètres. D'après M. Gardner Wilkinson (1), le dépôt se serait accru, dans les dix-sept derniers siècles, à Eléphantine de 2^{m},92, à Thèbes de 2^{m},27, et à Héliopolis de 1^{m},54.

En tenant compte des causes d'erreur dans les calculs déduits de l'accumulation des sables autour de divers monuments élevés par les hommes, on peut conclure d'après les lits annuels, dont le nombre dépasse 900 dans les falaises qui bordent le fleuve, que la quantité de sédiment déposée chaque année n'a point varié pendant les dix derniers siècles. On trouve peu de cailloux dans la basse Égypte et le delta, et les substances les plus ténues arrivent seules à la mer, qu'elles colorent jusqu'à une distance de 40 milles de la côte.

Près des bouches du Nil, la vase est mélangée avec le sel marin et renferme des coquilles de la Méditerranée associées avec des coquilles et d'autres débris fluviatiles et terrestres. Ce sédiment du fleuve contient en outre, comme nous l'avons vu, une immense quantité d'infusoires. L'absence de coquilles marines dans le centre et la partie supérieure du delta doit faire penser que l'alluvion s'est déposée au-dessus du niveau actuel de la mer. Quant aux changements survenus sur la côte ou dans le voisinage depuis les temps historiques, M. Newbold est porté à les attribuer plutôt aux sables marins mouvants de la côte elle-même qu'aux alluvions

(1) *On the Nil*, etc. Sur le Nil et les niveaux anciens et actuels de l'Égypte (*Edinb. new phil. Magaz.*, vol. XXVIII, p. 211. 1840). — Voyez aussi : Linant de Bellefonds, *Mémoire sur le lac Mœris* (*Soc. égyptienne d'Alexandrie*, 1843). — Nash, *On the geology*, etc. Sur la géologie de l'Égypte et la vallée de Cosséir (*Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXII, p. 40. 1837). — A.-B. Orlebar, *Some observations*, etc. Quelques observations sur la géologie du désert d'Égypte.

Digitized by Google

propres du Nil, qui sont comparativement très faibles sur le delta.

M. G. Bianconi (1), après avoir comparé et discuté les textes des historiens de l'antiquité qui semblent s'accorder sur l'émersion récente du Delta et cité des preuves du séjour récent de la mer jusqu'au-dessus de Memphis, est porté à admettre la conclusion qu'en a tirée Champollion (2), que la Haute-Égypte était déjà couverte de villes florissantes lorsque la Basse-Égypte était encore cachée sous les eaux de la mer.

Abyssinie. Le Samhar, plage qui borde les montagnes de l'Abyssinie, présente tous les caractères d'un dépôt qui s'accroît annuellement par l'effet des torrents. Ces cours d'eau qui proviennent de pluies torrentielles ne durent jamais plus de deux jours, le versant oriental de ces montagnes étant très abrupte et presque dépourvu de végétation (3).

§ 5. Cordons littoraux.

Jusqu'à ces derniers temps, les divers phénomènes dont nous nous sommes occupés dans ce chapitre, quoique étudiés sur un assez grand nombre de points et d'une manière détaillée, n'avaient encore été envisagés qu'isolément, et leur théorie générale ou la coordination des causes qui les produisent ne paraît pas avoir été tentée. M. Élie de Beaumont, dans ses leçons faites au collége de France, en 1843 et 1844 (4), est venu combler cette lacune de la science. Par une profonde analyse de tous les faits qui se rattachent à ces dépôts et par une synthèse non moins savante, dans laquelle ces divers ordres de faits ont été groupés, il nous a appris à les considérer sous leur véritable point de vue, en même temps qu'il a indiqué la vraie manière de les étudier. Nous ne pouvons donc mieux terminer ce chapitre qu'en exposant brièvement ses idées à ce sujet.

Le bourrelet de matières meubles que la mer élève sur ses bords, comme pour clore son domaine, pourrait être désigné assez convenablement, dit M. Élie de Beaumont, sous le nom de *cordon littoral*, et en y joignant les dunes auxquelles le cordon littoral donne naissance, lorsqu'il est formé de sable fin non argileux, on pourrait appeler le tout l'*appareil littoral*. Le savant professeur explique

(1) *Intorno alla modernita, etc.* Sur le peu d'ancienneté du Delta de l'Égypte (*Nouv. ann. sc. nat. di Bologna*, oct. 1846).
(2) *L'Égypte sous les Pharaons*, vol. II, p. 2.
(3) D'Abbadie, *Bull.*, vol. X, p. 122. 1839.
(4) *Leçons de géologie pratique*, vol. I, p. 221. 1845.

Digitized by Google

ensuite la manière dont s'opère l'accumulation et le transport des galets et des sables, et il entre dans une multitude de détails, pleins d'intérêt et de précision, sur la formation du cordon littoral. De nombreux exemples pris sur les côtes de France, d'Angleterre et d'Allemagne (1), comme sur celles d'Espagne et d'Italie, et sur le pourtour du golfe du Mexique, viennent répandre une grande clarté sur ce sujet trop longtemps négligé. Il fait voir, en outre, l'importance et les résultats des *barres* qui, se formant le long des côtes et à l'entrée d'un grand nombre de rivières, produisent des lagunes si fréquentes qu'il y a peut-être un tiers des côtes du globe qui doivent leur configuration à des phénomènes de ce genre. Les barres sont le prolongement sous-marin de ces levées de galets, de ces accumulations de sable qui forment les dunes, lesquelles sont tracées un peu au-dessus du niveau des hautes mers. A la basse mer, les barres ne sont pas recouvertes de plus de 6 mètres d'eau ; elles en ont même ordinairement beaucoup moins.

En étudiant ce qui se passe derrière le cordon littoral, ou entre ce cordon et la terre ferme (p. 253), M. Élie de Beaumont décrit la disposition des lagunes et des marais, et démontre que la limite extérieure de la Hollande a été tracée par la seule action de la mer, comme aussi toute la côte, depuis le Pas-de-Calais jusqu'à l'embouchure de l'Elbe. Le pays sablonneux qui s'étend de la Belgique aux côtes de la Baltique est occupé par un sable quartzeux un peu argileux, appelé *geest*. La discussion des textes des auteurs latins qui ont parlé du pays des anciens Bataves fait connaître les modifications qu'ont subies le cours inférieur du Rhin et celui de la Meuse depuis les temps historiques (p. 265). « Les alluvions » les plus anciennes du Rhin (p. 272) se sont faites le long de son » cours primitif, qu'il n'a quitté qu'après l'avoir élevé et obstrué ; » et cette partie est restée le centre de la Hollande, le centre et le » type des Pays-Bas. Les parties situées de part et d'autre sont en- Pays-Bas.

(1) Voyez, pour les côtes de la Baltique : *Observations sur les changements arrivés sur la côte de la Baltique, depuis le confluent de la Vistule jusqu'à la frontière de la Poméranie*, par Berghaus (ses *Ann. der Erdk.*, 1838, vol. XVIII, p. 48-56). La Baltique a reculé çà et là ses limites; pendant quelque temps son niveau paraît avoir été de 1^m,30 ou 1^m,60 plus bas qu'aujourd'hui, tandis que depuis un siècle, elle empiète sur la terre ferme, au nord du confluent de la Vistule. Une communication qui a été faite sur ce même sujet à l'Académie de Paris semble n'être qu'une compilation de ce que l'on trouve, soit dans l'histoire de Prusse de Voigt, soit dans l'histoire des changements de la surface terrestre par M. de Hoff.

Digitized by Google

» core actuellement à un niveau inférieur. Il y existe des bras de mer, » tels que ceux de la Zélande et le Zuyderzée, où se jettent aujour- » d'hui les diramations du Rhin. » Ce fleuve et la Meuse tendent à ensabler ces dépressions et à y rendre même, à la longue, leur propre cours impossible, ou du moins très difficile.

Passant ensuite aux dépôts d'embouchure des rivières, l'auteur explique la manière dont se sont formés les *polders*, et décrit les travaux qu'ont dû exécuter les habitants pour prévenir leur submersion lors des hautes marées; il suit le développement de ces effets le long de la côte de la Frise, aux embouchures du Weser, de l'Oste et de l'Elbe, où ces dépôts prennent le nom de *marchs*. Ce sont des sédiments horizontaux, qui s'étendent des collines de *geest* jusqu'à la mer, ou aux golfes dans lesquels les rivières se déchargent. Ces surfaces seraient encore toutes inondées lors des grandes eaux, sans les travaux d'art qui ont, jusqu'à un certain point, modifié et atténué les efforts des eaux fluviatiles à l'intérieur d'un cordon littoral, lequel n'a pas moins de 506 kilomètres de développement, de Calais à l'île de Wrangeroog. Mais il n'en est pas ainsi à l'extérieur de ce même cordon, où l'homme ne peut agir que sur des espaces très limités, tels que l'embouchure d'une petite rivière, d'un port, etc.

Tous les faits relatifs aux empiétements de la mer en Hollande, et dont le plus grand nombre se trouve consigné dans l'excellent ouvrage de M. de Hoff (1), portent à croire (p. 316) qu'il est difficile d'expliquer toutes les circonstances du phénomène, sans admettre que l'ensemble de la côte s'est légèrement abaissé, par rapport au niveau de la mer. Ce serait un enfoncement progressif d'une extrême lenteur, qui rendrait compte d'une manière aussi simple que naturelle, non seulement de la présence des constructions romaines, sous la mer, en avant du cordon littoral, mais encore des autres résultats observés en arrière de ce même cordon, tels que la formation et l'agrandissement de la mer de Harlem, celle plus ancienne du lac Flevo, celle du Zuyderzée, des lagunes du Dollart et de la Jahde, et enfin de quelques uns des bras de mer de la Zélande (2).

(1) *Veraenderungen der Erdoberflaeche*, vol. I.

(2) Voyez aussi sur ce sujet : G. van Diggelen, *Voorlezing bevattende*, etc. Leçons comprenant quelques observations sur l'état physique du sol de notre patrie, et servant en même temps d'introduction à un projet d'améliorer la nature du sol par le partage du terrain gagné sur le pays côtier du Zuyderzée (*Soc. de Oberissel*, in-8. 1842). — C.-H. Staring, *Die Erdkunde*, etc. La connaissance des terres

Déjà Hoffmann (p. 324) (1) avait remarqué que les lagunes de Venise, situées à l'embouchure de la Brenta, du Pô, de l'Adige et d'un grand nombre d'autres rivières moins considérables, et fermées par des langues de terre sablonneuses appelées *lidi*, sont semblables aux lagunes nommées *haffs* sur la côte méridionale de la mer Baltique. M. Élie de Beaumont, après avoir rappelé les observations de Forfait, citées par Cuvier, et celles de Dolomieu, remonte à la fondation même de Venise et suit, à travers les siècles, le développement de cette cité et en même temps le relèvement des lagunes, que des travaux continuels ont pu ralentir, tandis que Ravenne a depuis longtemps subi le sort contre lequel lutte encore Venise. Côtes de l'Adriatique.

Les atterrissements formés aux embouchures du Pô et de l'Adige, qui se jettent dans la mer assez près l'un de l'autre, ont produit la saillie que présente aujourd'hui la côte en cet endroit. Cette saillie n'existait pas dans l'origine, et des lagunes qui se prolongeaient jusqu'à une grande distance dans les terres, réunissant ainsi les lagunes de Ravenne à celles de Venise, ont été comblées par les alluvions, comme l'ont démontré de Prony (2) et M. de Hoff (3), à qui l'on doit une histoire complète des changements de lit de ces rivières depuis le temps des Étrusques.

Une circonstance qui ne se présente point cependant dans les Pays-Bas, c'est que la marche des alluvions du Pô ayant été très rapide, le fleuve a dépassé la ligne primitive du littoral, et est entré en quelque sorte dans la mer. D'un autre côté, on possède des documents précis qui constatent que depuis 1,400 ans, époque depuis laquelle la pointe du delta du Pô s'est avancée de 23,000 mètres, le cordon littoral qui circonscrit les lagunes de Venise et les *passes* qui le traversent n'ont éprouvé aucun changement notable. Au moyen de ces points de repère fixes, on a pu déterminer l'étendue de l'envahissement que les alluvions du Pô et de l'Adige ont fait dans la mer. Ainsi les observations de de Prony permettent

---

et l'agriculture de la Hollande (*Ibid.*, 1844). — Van der Wyck, *Suppositions et considérations sur le confluent du Rhin dans la mer* (*Neu. Jahrb.*, 1834, p. 245-277. — *Bull.*, vol. X, p. 232). L'auteur pense que le détroit du Pas-de-Calais a été ouvert environ 400 ans avant J.-C. Cet événement aurait été accompagné d'un déluge cimbrique, et le débouché du Rhin aurait été comblé et changé à cette époque.

(1) *Physikalische Geographie*, p. 601. 1827.
(2) Voyez Cuvier, *Discours sur les révolutions du globe*, p. 152.
(3) *Loc. cit.*, vol. I, p. 270.

Digitized by Google

de conclure que c'est à partir du XII^{e} siècle, que le Pô et l'Adige ont commencé à déposer leurs alluvions en dehors des lagunes et de la ligne des dunes qui traverse encore le delta du Pô, ligne qui marquait l'ancien rivage régulièrement concave de Venise à Ravenne.

Marais Pontins. (P. 359). Les côtes de la partie occidentale de la Méditerranée sont aussi bordées d'une multitude de lagunes, dont l'existence est due à des cordons littoraux qui les séparent de la mer, et dont la plupart se comblent plus ou moins rapidement par l'accumulation des sédiments que les rivières y déposent. Les marais Pontins des États Romains sont dans ce cas. Leur surface, disait de Prony (1), a 42,000 mètres de long sur 17,000 à 18,000 mètres de large. L'action de la mer a formé, sur la pointe occidentale du littoral, une double ligne de dunes dirigées N.-O., S.-E., appuyées d'une part au cap d'Astura et de l'autre au mont Circeo. A partir de ce dernier point, la ligne se prolonge de l'O. à l'E., mais sans être double, jusqu'à la ville de Terracine, placée à l'extrémité sud-est des marais.

Le cordon littoral qui ferme hermétiquement les marais Pontins n'est interrompu qu'en un point pour le débouché des eaux. Le sol du pays a d'ailleurs beaucoup de rapport avec celui de quelques parties de la Hollande. Près de la surface, on trouve de la tourbe alternant avec des couches terreuses; plus bas, on rencontre des couches de sable et d'argile, avec des débris d'animaux marins, qui ont été trouvés jusqu'à 17 mètres au-dessous du niveau de la mer, et à une distance de 16,000 mètres de son rivage actuel. Ainsi les marais Pontins résultent du comblement d'une lagune que la mer avait circonscrite elle-même par un cordon littoral, comme les *haffs* de la Baltique et les lagunes de Venise. En Toscane, le littoral des Maremmes, de même qu'en Espagne, l'Albuféra de Valence, présentent encore des faits du même genre.

Bouches du Rhône. Le delta du Rhône ou la Camargue, composé d'un mélange de limon, de sable et de gravier très fin, renferme des lagunes et des marais. Mettant également à profit les recherches antérieures de Darluc dans son *Histoire naturelle de la Provence*, M. Élie de Beaumont fait voir que le canal creusé par les soldats de Marius, 103 ans avant J.-C., et qui pendant plusieurs siècles fut une des voies commerciales les plus fréquentées des Gaules, peut à peine être retrouvé aujourd'hui, quoique la configuration du sol n'ait pas sensiblement changé, non plus que la bifurcation du Rhône au-dessus d'Arles.

(1) *Des marais Pontins*, p. XX de la préface. 1818.

Digitized by Google

Mais ce sont les subdivisions et les ramifications de ces deux bras principaux du fleuve qui ont changé depuis l'époque romaine, alors que l'on y comptait cinq branches, et qui ont occasionné assez de modifications pour rendre le pays méconnaissable.

Saint-Gilles, qui était un port considérable, sur la rive droite du petit bras du Rhône, aux XI[e] et XII[e] siècles, ne pourrait voir arriver aujourd'hui de faibles bâtiments. Aigues-Mortes était mise en communication avec la mer par un chenal que remontaient, au moyen âge, les plus forts vaisseaux, et qui est aujourd'hui complétement ensablé. Ce chenal, appelé *Grau de la croisade*, traversait le cordon littoral d'Aigues-Mortes comme les ports de Lido et de Malomocco coupent celui de Venise, et il montre clairement, qu'en 1248, le cordon littoral placé en face d'Aigues-Mortes existait déjà dans la position où on le voit de nos jours.

Cependant l'emplacement même d'Aigues-Mortes a été formé dans l'origine par les atterrissements du Rhône. Depuis Cette jusqu'à la Camargue, la Méditerranée est bordée par les étangs de Maguelone, de Pezols et de Mauguio; et, sans les limons accumulés du Rhône et de la Durance, le prolongement de l'étang de Mauguio occuperait encore une partie considérable de la Camargue. On retrouve d'ailleurs, dans les traditions, les traces du progrès de ce phénomène, depuis le commencement de l'ère chrétienne, et même depuis une époque beaucoup plus ancienne (1).

Ces atterrissements se sont bornés à remplir des étangs séparés de la mer par un cordon littoral nommé *plage* dans le pays, et dont rien n'annonce que la position ait varié. Le Rhône, par suite de la pente de la Crau, versait ses eaux à l'O. dans l'origine, et devait tomber dans la partie aujourd'hui comblée de l'étang de Mauguio, représentée par le territoire d'Aigues-Mortes. Il est probable que le plus ancien des bras du fleuve que l'on puisse encore reconnaître est le *Rhône mort;* que le *petit Rhône*, situé plus à l'O., lui a succédé, et que celui-ci a cédé plus tard la prééminence au bras oriental, qui est aujourd'hui le principal. Ce dernier s'allonge avec une grande rapidité, comme le prouvent les tours placées successivement sur ses bords de distance en distance. On a pu constater

(1) Voy. Astruc, *Mémoires pour l'histoire naturelle du Languedoc.* — Pouget, *Mémoires sur les atterrissements des côtes du Languedoc* (*Journ. de Physique*, vol. XIV, p. 28. 1779).—Gensanne, *Histoire naturelle du Languedoc*, vol. I. 1776. — De Hoff, *loc. cit.*, vol. III.

Digitized by Google

que le Rhône s'était avancé d'une lieue dans l'espace de cent ans, et de 50 mètres par an. D'autres calculs ont donné un accroissement plus rapide, ou de 68^{m},78 (1), qui se rapproche beaucoup de celui de 70 mètres qu'a trouvé de Prony pour le Pô, dans les deux derniers siècles.

M. Peyret-Lallier évalue les atterrissements annuels du fleuve à 20 hectares ; or, si cette proportion n'avait point varié, le delta du Rhône, dont la surface est de 130,000 hectares, aurait été formé dans l'espace de six mille cinq cents ans. Mais, pour résoudre complétement la question, il faudrait mieux connaître l'étendue de la surface formée par les atterrissements et retrouver le cordon littoral dans son état originaire. Après diverses recherches à ce sujet, M. Élie de Beaumont conclut qu'excepté vers l'embouchure actuelle du grand Rhône, cette ligne limite est toujours à moins de 10,000 mètres de la plage actuelle, et c'est seulement de la largeur de cette zone que le delta du Rhône peut avoir réellement empiété sur la Méditerranée, après avoir comblé les étangs dans lesquels il a dû se jeter d'abord.

A l'ouest du petit Rhône comme à l'ouest du grand, se trouve une saillie de la côte suivie d'une anse profonde. Ces deux saillies remarquables, séparées par l'étang de Valcarès, ont une même origine, étant dues chacune au bras du Rhône qu'elles accompagnent. Chacun des deux bras tombe en effet aujourd'hui dans la mer, à l'extrémité orientale de la saillie qui lui correspond, après avoir parcouru le front de l'O. à l'E. dans les déplacements successifs de son embouchure. Cette disposition résulte du courant méditerranéen qui longe les côtes de Provence et du Languedoc, en se dirigeant de l'E. à l'O., et qui transporte, dans la même direction, les sédiments que les rivières y amènent, et particulièrement ceux du Rhône. Ainsi ces atterrissements se forment toujours à l'ouest des embouchures, et c'est pourquoi le port de Marseille, dont la fondation remonte à six cents ans avant J.-C., n'a pas éprouvé le plus petit changement depuis les Phocéens ; et les autres lieux décrits par Strabon, tels que l'étang de Berre, le village de Foz, etc., sont encore dans la même position relativement à la mer.

Sur six ports qui existaient dans le golfe de Lyon, les sables charriés par les rivières en ont mis cinq à peu près hors de service,

(1) A. Peyret-Lallier, *Études sur le port d'Arles*. — Fabre, *Essai sur la théorie des torrents et des rivières*.

Digitized by Google

depuis l'époque romaine : St-Gilles, Aigues-Mortes, Maguelone, Cette, Agde et Narbonne. Le port d'Agde a été comblé à deux reprises; celui de Cette tend chaque jour à l'être, et on ne le maintient qu'avec peine.

Après avoir comblé des étangs ou lagunes formés par un cordon littoral, et en dedans de ce cordon, le Rhône, comme le Pô, a dépassé cette barrière et fait irruption dans la mer, où il étend aujourd'hui ses alluvions. Quant à l'espace qu'il a envahi, sa plus grande surface, comprise entre la ligne droite tirée de l'étang de Mauguio au monticule de la Roque, et qui a 65 kilomètres, sur une largeur qui ne dépasse qu'en un seul point 10 kilomètres, cet espace, disons-nous, serait d'environ 325 kilomètres carrés, surface beaucoup plus petite que la plaine de la Crau, et égale aux deux tiers du département de la Seine, qui a 485 kilomètres carrés.

Delta du Danube.

(P. 403.) Comparé à ceux du Rhône et du Pô, le delta du Danube présente une superficie plus grande et à peu près proportionnée à l'étendue de son bassin. Il rappelle les deux autres par une foule de circonstances; et ces différents deltas ressemblent à plusieurs égards au sol de la Hollande : ainsi l'on peut dire qu'en arrivant à la mer, tous les grands fleuves qui lui portent les eaux du massif des Alpes produisent des effets analogues.

Bouches du Nil.

(P. 405.) Comme précédemment, M. Élie de Beaumont, après avoir indiqué les sources nombreuses où il a puisé (1), donne un aperçu de la configuration de la basse Égypte et en particulier du delta du Nil, aujourd'hui resserré entre les branches de Rosette et de Damiette (branches bolbitine et phatnitique). Les branches extrêmes canopique et pélusiaque ne sont plus assez importantes pour être comprises parmi les principaux bras du fleuve, dont les anciens comptaient jusqu'à sept. Les détails relatifs aux dimensions et au développement des deux branches principales, au sol du delta, à sa composition, aux crues périodiques du Nil et à la nature du dépôt qu'elles abandonnent étant assez généralement connus, nous ne nous y arrêterons pas (2). De même que les autres fleuves dont nous venons

---

(1) Voyez à ce sujet : Dolomieu, *Journ. de physique*, 1793, vol. XLII. — Le grand ouvrage de la commission scientifique qui a accompagné l'expédition d'Égypte. — Russegger, *Reisen in Europa, Asien und Afrika*, vol. I. — Wilkinson, que nous avons déjà cité (*antè*, p. 343) — *Journ. geogr. Soc. of London*, vol. IX. — *Voyage du duc de Raguse*, etc.

(2) D'après les observations de M. Newbold, que nous avons rap-

Digitized by Google

de parler, le Nil, en élevant le fond du lit de ses diverses branches, en même temps que leurs bords, en a mis plusieurs hors de service et s'est réduit à la nécessité de changer de cours, circonstances auxquelles ont contribué les sables chassés par les vents.

Les monuments anciens ont pu servir à mesurer l'étendue de ces modifications, et en particulier les ruines de l'antique Tanis, à l'est de la branche tanitique, et dont M. Cordier, qui accompagnait Dolomieu lors de l'expédition d'Égypte, a donné une description aussi précise qu'intéressante. Cette ville, qui, du temps de Moïse, remontait déjà à une haute antiquité, était en effet un chronomètre précieux.

Les lagunes littorales qui bordent une grande partie du delta sont très peu profondes, et le limon du Nil tend à les faire disparaître. On compte cinq de ces lagunes, toutes d'une grande dimension. Le lac Maréotis, la plus occidentale d'entre elles, et dont parle Strabon comme étant le centre d'un commerce maritime considérable, a même déjà disparu une première fois et a été remplacé pendant un siècle par une plaine sablonneuse, stérile et imprégnée de sel. Une digue naturelle, composée d'une chaîne continue de rochers calcaires, prolongement de la côte d'Afrique, sépare de la mer les lacs Maréotis et Madieh. Diverses cavités y ont été creusées, et M. Russegger (1) les regarde comme un dépôt contemporain qui se continue encore sur toutes les côtes du delta; mais les preuves données à l'appui de cette opinion par le savant voyageur allemand nous ont paru peu convaincantes.

M. Élie de Beaumont discute tous les points relatifs aux travaux des hommes, dans le voisinage des lacs Maréotis et Madieh; puis il décrit le lac d'Edkou et celui de Bourlos. Ce dernier, qui a 60 kilomètres de long sur 30 de large, présente une multitude d'îles, et sa profondeur générale ne dépasse pas 1 mètre. Il est séparé de la mer par un cordon littoral que forme une crête de sable surmontée par de petites dunes placées de distance en distance. A l'est du lac, la plage sablonneuse s'élargit et les dunes s'y élèvent davantage, à l'abri des palmiers et des vignes qu'on y cultive. La courbe régulière que présente le bord de la mer, le long du lac

---

portées (*ante*, *p.* 343), les analyses du limon du Nil, faites par M. Lassaigne (*Comp. rend.*, vol. XVIII, p. 787), ne seraient que d'un intérêt purement local et sans importance géologique.

(1) *Reise in Europa*, etc., vol. I, p. 211.

Digitized by Google

Menzaleh, le plus grand des lacs d'Égypte, est formée par une barrière littorale, analogue à celle qui borde les lagunes de Venise, divisée de la même manière, et offrant plusieurs ouvertures qui permettent de passer de la mer dans le lac. On trouve dans ce dernier, dont la profondeur est aussi très faible, des îles autrefois habitées et où gisent encore les ruines de plusieurs villes importantes, entre autres celles de Tennys et de Tounah. La première de ces antiques cités occupait une position que déjà Dolomieu avait comparée à celle de Venise.

La basse Égypte (p. 459) offre, dans son ensemble, une disposition fort analogue à celle qui a été indiquée pour les deltas du Pô et du Rhône. Le lac Bourlos, qui occupe le milieu de la base du delta, est placé entre les deux branches principales du Nil, à peu près comme l'étang de Valcarès entre les deux branches du Rhône. Le lac Menzaleh et le lac Maréotis sont situés comme la lagune de Comachio et celles de Venise des deux côtés de l'embouchure du Pô. Ce sont là des dispositions qui, avec des modifications locales, se retrouvent partout. Mais ce qui distingue particulièrement le delta du Nil, c'est l'invariabilité presque complète de son contour extérieur. Il n'a pas éprouvé ce changement rapide que nous venons de voir à l'embouchure du Pô; et, sous ce rapport, le Nil ressemble davantage au Rhin; car la côte d'Égypte est restée à peu près telle qu'elle était il y a 3,000 ans.

Il existe bien deux promontoires sableux qui s'avancent dans la mer, au-delà du cordon littoral originaire, et qui prolongent ainsi le lit de chacune des deux grandes branches du Nil actuel, auxquelles ils doivent leur origine; mais ces branches ne paraissent avoir franchi le cordon littoral qu'à une époque très reculée, et elles n'ont empiété sur la mer qu'avec une excessive lenteur. Ainsi la branche de Rosette se prolonge à 9,300 mètres en avant du contour général de la côte, et celle de Damiette à 12,700 mètres; et l'on peut conclure, de considérations tirées des monuments anciens qui s'observent dans le voisinage, que les branches du Nil ne s'allongent pas moyennement de plus de 4 mètres par année, ce qui est bien différent de l'allongement du lit du Pô qui, dans les deux derniers siècles, a été de 70 mètres par an. Cette circonstance est due à ce que le fleuve de l'Égypte n'a jamais été contenu par des digues; ses eaux se répandant alors sur toute la vallée, y déposent leur limon sur une très grande longueur et n'entraînent

Digitized by Google

vers la mer que la plus faible partie des matières qu'elles tiennent en suspension.

Les branches de Damiette et de Rosette, dont l'origine est artificielle, sont d'ailleurs les seules qui aient jamais produit, d'une manière sensible, le phénomène de l'empiétement direct sur la mer. Les plus anciennes branches n'arrivaient à la Méditerranée qu'après avoir traversé des lagunes, et ne produisaient point de saillie correspondante en avant du delta. A Damiette et à Rosette, l'exhaussement des rives du Nil doit être d'environ 13^{mm},7 et 14^{mm},2 par siècle. Dans la vallée d'Égypte, cet exhaussement séculaire serait de 126 millimètres, c'est-à-dire près de neuf fois plus considérable. A 141 kilomètres des embouchures, ou à la demi-distance du Caire à la mer, l'exhaussement séculaire serait de 60^{mm},907 (1).

Delta du Gange. Le delta du Gange commence à 320 kilomètres en ligne droite de la mer, et il a, le long de la côte, une base de près de 300 kilomètres. Sa surface totale est à peu près double de celle du delta du Nil. Elle est partagée par de nombreux courants qui s'entrelacent dans toutes les directions et qui se ramifient souvent les uns dans les autres. Les eaux s'écoulent dans la mer par dix ou douze bouches différentes, dont deux principales sont aux extrémités est et ouest. Cette dernière se nomme Cozimbazar ou Hoogly. Les rapports du Gange avec le Brahmapoutra sont à peu près les mêmes que ceux du Pô avec l'Adige. Le sol du delta du Gange, sur une épaisseur d'environ 24 mètres, est formé par les dépôts du fleuve, qui sont en partie tourbeux, comme ceux de la Hollande. Les diverses branches sont encombrées de bancs de sable; mais la région qui avoisine le plus les bouches, appelée *Sunderbunde*, exhalant des miasmes pestilentiels et étant couverte de *jungles* (broussailles) que peuplent les tigres et d'autres animaux féroces, est encore peu connue. En outre, l'absence d'anciens monuments, comme en Égypte, fait que l'on manque de données pour estimer la marche des atterrissements, qu'on ne peut guère supposer d'ailleurs très différente de celle des autres fleuves.

Indiquant ensuite rapidement les dépôts qui se forment encore à l'embouchure d'autres grands cours d'eau, sans affecter pourtant toujours la forme des deltas proprement dits, tels que ceux de l'Eu-

(1) Voyez aussi : Lepsius, *Sur les anciens niveaux du Nil* (*Bericht ub. Verh d k. Preuss. ak d. Wiss.*, Berlin, 1844, c. 9, p. 373-379).

Digitized by Google

phrate, du Tigre et des fleuves de la Chine, l'auteur mentionne aussi les atterrissements de l'Indus et de l'Orénoque, puis il s'arrête quelque temps à considérer le delta du Mississipi.

(P. 497.) « La moitié au moins, dit M. Élie de Beaumont, des » rivages du golfe du Mexique est formée par des cordons littoraux » analogues à ceux qui entourent les lagunes de Venise, et le delta du » Mississipi nous rappelle, de son côté, mais beaucoup plus en grand, » le delta du Pô. » Le Mississipi, dont le nom, dans le langage des Indiens, signifie le *père des eaux*, commence à se diviser à 460 kilomètres de l'embouchure principale. Il s'en détache vers l'O. un bras considérable nommé *Atchafalaya*, et le point de cette bifurcation peut être considéré comme le sommet du delta. Mesuré en ligne droite de son sommet jusqu'à Balize, fort situé à l'embouchure du fleuve, il a une longueur de 320 kilomètres, ou égale à celle du delta du Gange. La largeur de sa base est aussi très considérable ; et, pris dans son ensemble, le delta proprement dit a une forme triangulaire dont la surface est supérieure à celle du delta du Nil dans le rapport de 4 à 3.

Delta du Mississipi.

Une grande partie de ce triangle et des terres basses adjacentes est constamment couverte par les eaux. Pendant les inondations, il ne reste d'émergé qu'une bande étroite, le long de la plupart des cours d'eau ; car le Mississipi et ses différents bras, nommés *bayous*, ont leurs bords immédiats plus élevés que le reste du pays, et le niveau du fleuve domine celui de toutes les lagunes et de tous les cours d'eau qui existent à ses côtés et qui dérivent de lui. Les *bayous* sont d'ailleurs beaucoup moins profonds que le fleuve (1). La marée ne se fait sentir sur le cours principal que jusqu'à 50 kilomètres seulement de son embouchure.

Le delta du Mississipi présente plusieurs grandes lagunes peu profondes. Le fond des lacs de Pontchartrain, de Maurepas, Qualchas et Chetimaches n'est que de 1m,20 à 6 mètres au-dessous du niveau général du delta. En comparant la disposition des diverses embouchures de ce fleuve et celle de ses lagunes principales à ce que nous avons vu dans les deltas de la Méditerranée, il semble que ces formes ne soient que les modifications d'un même type fondamental. Les phénomènes qui concourent à leur formation, et jusqu'aux procédés par lesquels l'industrie humaine parvient à en tirer

(1) Voyez, pour plus de détail : Michel Chevalier, *Des voies de communication aux Etats-Unis*, vol. I.

Digitized by Google

parti, se ressemblent partout, et l'on voit que la Nouvelle-Orléans a été bâtie de prime abord là où il serait le plus naturel de chercher l'emplacement originaire du cordon littoral, c'est-à-dire dans une situation comparable à celles de Rosette, d'Aigues-Mortes, de Comachio et de Leyde.

Le Mississipi, qui s'avance, hors de la ligne du continent, dans le chenal qu'il s'est créé, à force d'accumuler des boues et des arbres, et qu'il étend graduellement vers sa partie inférieure, se décharge dans la mer par plusieurs branches, dont cinq principales. Les trois passes les plus importantes forment exactement la patte d'oie et se divisent encore avant d'atteindre la mer. Chacune de ces ouvertures est bordée par de longues bandes de terre très étroites. Les cinq principales bouches sont ainsi placées à l'extrémité d'autant de bras, dont la longueur est de 8 à 10 kilomètres, et qui divergent à partir d'un point central. La passe la plus fréquentée est celle du sud-est. Il y a des *barres* au débouché de chacune, et l'eau y est comparativement peu profonde, tandis que le lit du fleuve a de 30 à 40 mètres de profondeur. Ces barres prouvent combien est grande l'action de la mer pour rejeter les matières qui y sont charriées.

« Le bas Mississipi (p. 507), pendant l'inondation du printemps, » n'est plus un fleuve ; c'est une sorte de mer boueuse qui se pré» cipite vers le golfe du Mexique, charriant avec elle une immense » quantité de bois que ses affluents et lui-même ont arraché sur » leurs bords. J'ai mesuré, dit M. Michel Chevalier (1), quelques » arbres que l'Ohio avait ainsi abandonnés sur la grève de Louis» ville, et dont la dimension n'avait rien d'extraordinaire rela» tivement aux autres. Ils avaient 30 mètres de long, 1^m,50 à 2 » mètres de diamètre. On retrouve ces bois au loin déposés en » épaves sur les bords du golfe du Mexique, jusque sur la plage de » Vera-Cruz ; ce sont eux qui, mêlés au limon du fleuve, forment » le sol du delta et prolongent tous les jours le promontoire, qui » porte au large les eaux du Mississipi. »

Les îles mobiles de l'embouchure du fleuve sont semblables aux *teys* du Rhône ; mais leurs changements et leur accroissement sont infiniment plus rapides. Une portion du promontoire étroit au milieu duquel coule le fleuve, à partir du fort Saint-Philippe, s'est formée, dit-on, depuis la fondation de la Nouvelle-Orléans, en 1717. Cette espèce d'aqueduc, formant saillie au-delà de la ligne du littoral,

(1) Michel Chevalier, *loc. cit.*, p. 75.

Digitized by Google

n'a pas moins de 75 kilomètres d'un côté et 70 de l'autre. Il a doublé de longueur, assure-t-on, dans l'espace d'un siècle, et se serait ainsi prolongé de 35 kilom., ou annuellement de 350 mètres, c'est-à-dire cinq fois plus rapidement que la pointe du delta du Pô. Ce terrain mal assis change d'aspect tous les jours. Sur une étendue de 100 ou 120 kilomètres, le fleuve est porté par un véritable radeau flottant, grossièrement assemblé, découvert seulement pendant l'étiage, et dont les coups de mer et le choc des eaux ébranlent les diverses parties, les font ployer et les déplacent.

Ainsi que le fait remarquer M. Élie de Beaumont, il ne faudrait pas cependant regarder le charriage actuel du Mississipi comme son état normal, pas plus que son avancement, dans la mer, de 350 mètres par an; il est plus probable que, de même que pour les alluvions du Pô, vers la fin du moyen-âge, les défrichements immenses des terres, dans le bassin du fleuve, doivent accroître la rapidité et l'élévation des crues, ainsi que la quantité du limon et des autres matériaux transportés; enfin les digues dont son cours est bordé depuis un siècle obligent les eaux à conduire jusqu'à la mer la plus grande partie des matériaux qu'elles charrient.

Les dépôts de tous les cours d'eau sont destinés sans doute à produire dans le laps des siècles des effets analogues; mais, jusqu'à présent, la plupart n'ont encore fait que combler les lagunes littorales; quelques grands fleuves seuls ont pu dépasser ce point et prolonger leurs berges jusqu'à la mer; et parmi ces derniers le Mississipi est celui qui nous présente dans sa marche le maximum de développement. Cependant la rapidité même de cet agrandissement sur un point deviendra probablement une cause de destruction pour cette langue de terre sans appui, et que quelque immense tempête, comme il y en a dans ces parages, pourra peut-être un jour bouleverser et détruire. Quant à l'action de comblement que ces alluvions seraient capables d'exercer sur le fond du golfe du Mexique, il est facile de voir combien elle est faible en elle-même, et qu'elle ne se prête nullement aux appréciations exagérées que pourrait faire naître un phénomène local et dont l'effet sera toujours borné (1).

(1) Près du lac de Pontchartrain, d'après M. Lyell, on n'aurait pas rencontré le fond de l'alluvion à 600 pieds anglais, ce qui serait la profondeur moyenne des eaux du golfe du Mexique, entre Balize et la pointe sud des Florides. Les travaux des ingénieurs des mines ont conduit à admettre que les sédiments actuels répandus chaque année sur le delta.

Digitized by Google

Dans les considérations qui terminent l'étude des cordons littoraux, M. Élie de Beaumont fait voir que les accroissements si rapides du delta du Pô, du XIIIe au XVIIe siècle, et de celui du Mississipi dans le nôtre, ont marqué le moment où l'industrie humaine a, *pour la première fois*, pris complétement possession du bassin de ces deux fleuves. « On pourrait même affirmer, dit-il (p. 518), d'après la » considération des deltas, et indépendamment des témoignages » historiques, que le développement qu'a pris la culture du globe » depuis quelques siècles est un progrès qui se réalise pour la pre- » mière fois. La circonstance que les deltas de beaucoup de fleuves » ont fait irruption assez récemment à travers la barrière littorale, » montre clairement aussi que l'état actuel des choses, sur la surface » du globe, est très récent. Il est en effet évident que, si l'état ac- » tuel des choses était très ancien, les cordons littoraux seraient » tous franchis depuis longtemps, etc. »

L'histoire des deltas qui ont été étudiés précédemment peut se partager en deux périodes (p. 519). « Pendant la première, le fleuve » s'est formé un premier lit dans les lagunes qu'il a comblées. Dans » la seconde, il a abandonné ce premier lit, déjà trop exhaussé, et » il s'est déversé latéralement en se formant de nouveaux lits, dont » plusieurs lui servent encore aujourd'hui. Le travail de la seconde » période a été accéléré par l'effet des défrichements, mais pendant » quelques siècles seulement, et peut-être très faiblement pour » certains fleuves tels que le Rhin, le Rhône, le Nil. Or ce tra- » vail de la seconde période est en masse très comparable à » celui de la première, si même il ne le surpasse pas; et comme il » n'y a guère que 2, 3 ou 4,000 ans que cette seconde période a » commencé, on voit que rien ne conduit à faire remonter l'ori- » gine des deltas à un grand nombre de milliers d'années. »

---

dont la surface est estimée à 13,600 milles carrés, exigeraient un laps de 67,000 ans pour atteindre l'épaisseur de 1/10 de mille ou 528 pieds, que M. Lyell suppose être l'épaisseur moyenne de l'alluvion moderne. Si l'on admet en outre que la matière alluviale de la plaine située au-dessus du delta n'ait que la moitié de cette épaisseur, la quantité annuelle de sédiment qu'y dépose actuellement le fleuve exigerait un laps de 100,500 ans pour former un semblable dépôt (Lyell, *Travels in North America*. — Id., *Principles of geology*, 7e éd., vol. I, p. 216). — L. Horner, *Anniversary address*, etc. (*Quart. Journ. geol. soc. of London*, 17 fév. 1847, vol. IV, p. 42. — *The Athenæum*, p. 992, 1846).

Digitized by Google

Les deltas, dans leur accroissement continuel, constituent donc comme les dunes, mais avec moins de précision, une sorte de chronomètre naturel, et leur formation a dû commencer en même temps que ces dernières. L'appui que se prêtent des supputations même très imparfaites, basées sur deux ordres de faits aussi différents, semble donner un grand poids à cette conclusion de M. Élie de Beaumont, « que la période actuelle, qui est à la fois l'*ère des » dunes* et l'*ère des deltas*, ne remonte qu'à une époque assez peu » éloignée de nous. »

Enfin les fleuves n'ont formé de deltas que là où la mer elle-même en avait préparé l'emplacement, en faisant naître des lagunes par la formation préalable d'un cordon littoral. La Seine, la Tamise, l'Amazone, etc., qui n'ont point trouvé de lagunes, entrent dans la mer par de larges embouchures, nommées estuaires, où leurs dépôts s'arrangent au gré des vagues.

Digitized by Google

CHAPITRE VI.

PRODUITS MARINS ORGANIQUES.

§ 1. Iles de coraux ou îles madréporiques (1).

Les produits marins animaux qui paraissent avoir le plus d'influence sur les modifications que subit le fond des mers, dans le voisinage des continents et des îles, sont les masses calcaires que construisent certains genres de polypes ou de zoophytes. Les observations récentes ont jeté un grand jour sur ce sujet, que nous traiterons avec d'autant plus de soin que l'étude des couches anciennes nous présentera plus souvent des résultats assez analogues à ceux que nous allons exposer.

M. R. Nelson, dans sa *Géologie des îles Bermudes* (2), a donné des détails nombreux et intéressants sur la constitution du sol de ces îles, et, quoique rien ne prouve qu'il appartienne en totalité à l'époque actuelle, la liaison intime des couches qui le composent avec le mode de formation et de destruction des massifs de polypiers environnants nous engage à donner ici l'ensemble des observations de ce voyageur.

Les Bermudes forment un groupe d'îles comprises dans un espace de 15 milles sur 5, et entourées d'un anneau subelliptique de récifs de coraux, qui a 25 milles de long sur 13 de large. La direction du grand axe de cette ellipse est N.-E., S.-O. Le point le plus élevé est situé à l'ouest d'Harrington et atteint 80 mètres d'altitude. L'aspect des hauteurs est celui de collines de sable, et leur teinte est celle de la craie. Toutes les îles sont formées de roches

(1) La règle que nous nous sommes imposée de ne substituer aucune expression nouvelle à une autre déjà admise, quoique impropre, a pu seule nous faire conserver celles-ci, car les genres *Corail* et *Madrépore* peuvent souvent ne pas entrer dans la composition des masses calcaires qui constituent ces îles. La dénomination d'*îles de polypiers* eût donc été préférable, puisqu'elle ne préjuge point le genre des polypes qui ont construit l'édifice.

(2) *Transac. geol. Soc. of London*, vol. V, p. 103. 1840. (Ce mémoire avait été lu à la Société dès 1834.)

Digitized by Google

calcaires, résultant de l'agglutination de coquilles et de polypiers brisés. La roche est tantôt meuble, tantôt dure, compacte, et susceptible de poli ; et ses diverses variétés sont associées sans aucun ordre de superposition.

Le fond du bassin, au milieu duquel se trouvent les îles, consiste en bancs de coraux qui n'affleurent au-dessus de la basse mer que dans les marées du printemps, et en sable calcaire associé à du calcaire crayeux semblable à celui qui forme la roche des îles. Celles-ci sont couvertes d'une terre rouge, sèche, contenant de la matière végétale, et dont l'épaisseur est de $0^{m},30$. L'ensablement ou l'obstruction des passages entre les îles ou dans les ports continue toujours, et, jusque dans ces derniers temps, on a eu des preuves de cette action incessante.

La *Venus pennsylvanica* paraît être l'une des coquilles les plus répandues dans ces roches modernes. Un banc qui en est entièrement formé se voit dans la carrière où l'on a exploité les matériaux de la jetée. A St-Georges, ce banc se continue l'espace de 4 milles avec une épaisseur de $1^{m},60$, et il est placé à 2 mètres au-dessus de la mer. La *Scutella quinqueforis* et le *Turbo pica* y abondent, aussi bien que dans les couches les plus dures ; et dans ces dernières, on a trouvé un gros bloc composé de *Meandrina areolata* avec des *Mytilus*, des Serpules et des Millépores. On a recueilli, dans les cavernes, des ossements d'oiseaux et même des œufs enveloppés de carbonate de chaux, ainsi que des *Helix*. Une boucle de jarretière et une boîte ont été retirées d'un calcaire dur, situé au fond d'une caverne, et renfermant aussi la *Scutella quinqueforis*, remplie de carbonate de chaux comme les précédentes, et l'*Agaricia undata*. En un mot, cette roche, dans laquelle des os de tortue ont été également découverts avec toutes les coquilles qui vivent encore sur les côtes voisines, est une sorte de *coral rag* de 1 mètre à $1^{m},25$ d'épaisseur et en voie de consolidation progressive.

Après avoir observé la décomposition des coquilles et des polypiers, depuis les moins calcarifères jusqu'aux masses de Méandrines et d'Astrées, non seulement en place, mais encore dans tout ce qu'ont produit les travaux exécutés sous la cloche à plongeur pour l'établissement des parapets de l'arsenal, M. Nelson n'hésite pas à attribuer à ce qu'il nomme la *craie des Bermudes* la même origine que les divers bancs de pierre, plus ou moins solides, qui constituent les îles elles-mêmes. Seulement, ceux-ci résultent de l'accumulation de fragments brisés mécaniquement, tandis que

Digitized by Google

la roche ou pâte crayeuse est due à la destruction, par une longue submersion, du tissu membraneux qui pénétrait toute la masse et qui abandonne alors la matière calcaire retenue dans ses mailles. Celle-ci en se précipitant forme cette substance blanche et tendre, analogue à la craie, qui se trouve au fond des anses et des golfes, mélangée de sable coquillier, de beaucoup de polypiers, de coquilles bien conservées et de masses considérables de Méandrines et d'Astrées. Ces masses, soit encore intactes, soit dans un état de décomposition plus ou moins avancé, ont certainement vécu, puis sont mortes sur les lieux mêmes.

Les récifs formés par des serpules sont distincts de ceux qui sont dûs à des polypiers, et les uns comme les autres constituent une sorte de ceinture autour d'un centre qui est, ou le sommet d'une roche, ou la base d'une colline.

La surface ondulée des îles paraît être le résultat du passage de grandes masses d'eau; mais les petites chaînes d'îlots, dont les couches sont presque toujours horizontales, ne seraient pas dues au même phénomène, et leurs couches ne s'étendaient pas au-delà de l'espace qu'elles occupent actuellement. Au sud du groupe, les récifs de serpules sont parallèles à la côte, dont ils s'éloignent à une distance de 50 à 500 mètres. D'ailleurs, M. Nelson pense que ces îles ont dû être soumises à plusieurs submersions locales, résultant de l'influence de volcans éloignés; mais il n'admet pas qu'elles aient été soulevées du fond de la mer. Elles ont dû se former par l'établissement des coraux, au sommet d'un rocher sous-marin plus ou moins étendu. Les parties mortes depuis longtemps sont brisées et entassées par les vagues et les vents, et ce mode de formation se continue jusqu'à ce que des îles entières résultent de la réunion de ces couches dues au concours des forces organiques, chimiques et mécaniques. Les polypiers, dont les germes sont transportés avec d'autres matières, se fixent indifféremment sur le premier corps qu'ils trouvent, et par leur croissance, leur multiplication et leur mort, contribuent à la stabilité et à la permanence de la colonie qu'ils ont fondée.

M. Ch. Darwin (1) a également reconnu que la désintégration des récifs de polypiers qui forment les îles et entourent les côtes produit, sur une grande étendue, une boue calcaire, pure, qui, lorsqu'elle est sèche, ressemble à la craie. Les excréments de cer-

(1) Voyez Lyell, *Transac. geol. Soc. of London*, vol. V, p. 252.

Digitized by Google

tains poissons du genre Spare et d'autres animaux de classes inférieures, qui se nourrissent de polypes coralligènes, sont aussi composés de craie impure. On voit un grand nombre de ces poissons se nourrissant complétement de coraux vivants, comme un troupeau d'herbivores pâture dans une prairie, et lorsqu'on vient à les ouvrir, on trouve leurs intestins remplis d'une craie semblable (1).

Le travail le plus complet que nous possédions encore sur les îles de coraux est celui qu'a publié M. Charles Darwin, en 1842, sous le titre de *Structure et distribution des récifs de coraux* (2). L'auteur, qui faisait partie de l'expédition scientifique du vaisseau

---

(1) Nous croyons utile de donner ici, pour servir de terme de comparaison, le résumé que M. Greenough a présenté sur ce sujet, dans son discours annuel, comme président de la Société géologique de Londres en 1835 (*Proceed.*, vol. II, page 159). Il résulte de l'état de cette partie de la science à cette époque: 1° que les polypes ne construisent pas au-dessus de l'eau; 2° que les îles de coraux qui se forment actuellement peuvent atteindre jusqu'à 80 mètres au-dessus de la mer, sans l'intervention de phénomènes volcaniques, de tremblements de terre, etc.; 3° que, dans les Bermudes, cette élévation a été atteinte par la simple accumulation de sable et de coquilles soulevés et portés vers l'intérieur; 4° que le sable ainsi poussé peut se stratifier sans l'intervention de l'eau; 5° que les couches formées de cette manière peuvent se consolider et alterner avec d'autres qui sont restées meubles; 6° que les couches de ce sable accumulé ne présentent point de surfaces horizontales; 7° que le vent peut donner au sable stratifié la forme d'un dôme ou d'une selle, une disposition contournée, ondulée ou circulaire, et une forte inclinaison; 8° que, dans les îles de coraux, les baies sont naturelles et non l'effet de brisures postérieures; 9° que la surface de l'île peut présenter des collines et des vallées, sans avoir été pour cela soumise à des courants diluviens; 10° que, sous des circonstances favorables, les dénudations peuvent être produites aussi bien par les vents que par les eaux; 11° que les sillons horizontaux de la côte (*reepple marks*), que M. Scrope attribuait au mouvement de vibration des couches inférieures de l'eau agitée par les vents ou les courants, peuvent être dûs aux vents seuls; 12° que les crevasses ou fissures peuvent être le résultat de contractions ou d'expansions inégales, et ne sont pas nécessairement accompagnées d'une cause violente; 13° que l'entre-croisement de ces crevasses ne prouve pas qu'elles ne puissent être contemporaines; 14° que les cavités peuvent être produites dans les couches par l'action désagrégeante de la mer; 15° que les calcaires peuvent être solidifiés sans l'application d'une haute température ou de la pression.

(2) *The structure and distribution of coral Reefs.*, in-8, avec cartes. Londres, 1842.

Digitized by Google

le *Beagle*, a parcouru et observé, de 1832 à 1834, un grand nombre des groupes d'îles épars dans le Grand Océan, entre la côte occidentale de l'Amérique du Sud et la côte orientale de l'Afrique; et l'examen qu'il a fait en même temps de beaucoup d'îles volcaniques, comprises dans le même espace, donne un grand poids aux opinions qu'il a émises sur les unes et les autres.

Les récifs de coraux ont été désignés sous les noms d'*îles lagoons, lagouns*, *lagons* ou d'*atolls*, de *barrières* ou *récifs circulaires*, et de *récifs frangés* (*fringing reefs*), ou *côtes de récifs*. Les îles lagouns ont, de tout temps, attiré l'attention par leurs grands anneaux de rochers de coraux, souvent de plusieurs lieues de diamètre, surmontés çà et là par des îles couvertes de verdure, aux rivages d'une blancheur éclatante, baignées au dehors par les flots de l'Océan, et entourant, à l'intérieur, une nappe d'eau calme et tranquille qui reflète une teinte brillante d'un vert pâle. L'étonnement augmente, si l'on considère les corps mous et presque gélatineux de ces animaux, si insignifiants en apparence, et cependant architectes de ces rochers solides qui ne s'accroissent que par leur bord extérieur, battus jour et nuit par un océan sans repos. Ainsi, dès 1605, François Pyrard, de Laval, disait: « *C'est une merveille de » voir chacun de ces atollons, environnés d'un grand banc de pierre » tout autour, n'y ayant point d'artifice humain.* »

Les îles lagouns, ou pour nous servir du mot employé par les habitants de l'Océanie, les atolls, sont des groupes circulaires que forment les îles de coraux. Les barrières de récifs (*barrier reefs*) sont des récifs de coraux qui entourent les petites îles. Quant aux côtes de récifs (*fringing reefs*), ou récifs frangés, elles sont toujours peu étendues, et diffèrent des barrières de récifs en ce qu'elles ne sont pas aussi éloignées de la côte, et qu'elles n'ont pas, à l'intérieur, de canal large et profond rempli d'eau. Les récifs se trouvent aussi autour des couches de sédiment submergées; d'autres sont dispersés irrégulièrement sur les points où la mer est très profonde.

Atolls ou îles Lagouns.

Les polypes ou zoophytes coralligènes veulent être toujours submergés ou lavés par la lame. Leur exposition au soleil, même pendant un temps très court, suffit pour les faire périr. Aussi n'est-ce que dans les très basses marées que l'on peut atteindre la limite extérieure de la zone où ils vivent. M. Darwin a trouvé cette partie presque entièrement composée de Porites vivants, constituant de grandes masses irrégulièrement arrondies, comme celles des As-

Digitized by Google

trées, de $1^m,20$ à $2^m,40$ de large, sur une épaisseur un peu moindre et qui sont séparées les unes des autres par de petits canaux. Le *Millepora complanata* (*Palmipora* id., de Blainv.) est moins important que les Porites et forme des plaques verticales épaisses, se pénétrant réciproquement et donnant lieu à une masse alvéolaire dont les feuillets extérieurs sont seuls vivants. D'autres zoophytes branchus vivent en grand nombre dans les cavités des Porites et des Millépores, qui seuls peuvent résister à l'effort des vagues.

Dans l'atoll des Cocos ou *Keeling atoll*, situé dans l'Océan Indien, et que l'on peut prendre pour type, le sol, sur 200 mètres de large, à partir du bord extérieur, s'abaisse graduellement, sous la mer, jusqu'à une profondeur de $45^m,70$; mais au-delà, la pente devient très rapide et atteint 45°.

A 18 ou 22 mètres de profondeur, le fond est très inégal et paraît composé de grandes masses de polypiers vivants, semblables à ceux du bord. Les *Millepora alcicornis* et *corymbosa* et une Astrée occupent plus bas le bord extérieur de la bande de récifs. Au-dessous de $36^m,50$, le fond s'est trouvé alternativemement composé de sable et de polypiers. A 365, 548 et 658 mètres, on a rencontré des fragments de polypiers triturés, mais qui ne paraissent pas provenir de genres lamellifères; les fragments de coquilles y étaient rares. A 2,200 mètres de distance du bord des brisants, une sonde de 2,134 mètres n'a pas rencontré le fond. Ainsi la pente sous-marine de cette formation de coraux est plus rapide que celle d'aucun cône volcanique.

La largeur totale du récif circulaire est de 250 à 500 mètres; sa surface est uniforme, ou très faiblement inclinée vers la lagune intérieure. Les petites îles se forment sur les récifs, à 200 ou 300 mètres de leur bord extérieur, par l'accumulation de fragments rejetés dans les grandes tempêtes. Leur largeur ordinaire est de 400 mètres, et leur longueur varie de quelques mètres à plusieurs kilomètres. Elles sont assises sur une sorte de banquette continue, de 0,60 à $1^m,20$ de hauteur, composée de fragments de coquilles, de coraux, de baguettes d'Oursins plus ou moins roulés et pénétrés de calcaire spathique, le tout fortement cimenté en une roche solide qu'atteint la vague à la haute mer. Cette roche est généralement blanche, ou colorée çà et là par de l'oxyde de fer, très dure et sonore sous le marteau.

La lagune intérieure qu'entoure le récif est, dans sa partie sud,

Digitized by Google

occupée par des couches de vase et par des champs de coraux vivants et morts, dont les espèces nombreuses et la plupart branchues diffèrent essentiellement de celles du dehors. Les Méandrines y forment aussi de grandes masses arrondies qui reposent presque sur le fond. Les autres polypiers les plus communs sont trois espèces très voisines des vrais Madrépores, le *Seriatopora subulata*, deux espèces de Porites, et un polypier voisin des Explanaires, mais avec des étoiles sur les deux faces. Les récifs sur lesquels les polypiers se développent sont irréguliers et remplis de cavités ; ils ne présentent pas comme les autres une surface solide, plate, de roche morte, et leur dureté est aussi moindre. Dans un laps de dix années, un canal qu'on y avait creusé pour le passage d'un petit bâtiment fut presque comblé par l'accroissement des coraux. Le sédiment de la partie la plus profonde de la lagune, qui offre d'abord un aspect crayeux, ressemble ensuite à du sable très fin, lorsqu'il est bien séché.

Les Holoturies se fixent et vivent sur des masses de polypiers également vivants. Le nombre des espèces et des individus est très considérable, et beaucoup de navires sont frétés pour la Chine avec un chargement de *trepang*, qui est une espèce de ce genre. La quantité de polypes consommés annuellement, et dont les habitations sont réduites en vase fine par ces animaux et par d'autres, doit être très grande, et apporter ainsi une limite naturelle à l'accroissement des coraux. L'action des polypiers pour le remplissage de la lagune intérieure est aussi très lente, et quant aux sédiments qui pourraient s'y accumuler, on conçoit que leur proportion doit être bien faible au milieu d'un océan limpide, loin de toute terre élevée.

La description de l'atoll des Cocos paraît convenir également, quant à la structure et aux proportions relatives, à presque tous les atolls de l'Océan Pacifique, autour desquels la mer est sans fond, à quelques centaines de mètres des bords des récifs. Cependant autour de l'archipel des îles Basses, tous les sondages ont rencontré des bancs de coraux. Autour de l'atoll de Noël décrit par Cook, la pente est aussi très faible, ce qui fait que la bande de terre qui entoure la lagune a une largeur tout à fait exceptionnelle, qui est de près de 5 kilomètres. Elle est formée de terrasses ou de digues successives de coraux et de coquilles brisées, comme sur les rivages. Dans les atolls des Maldives et des îles Chagos, les sondages ont atteint du sable qui aurait une pente de 55° ; mais il est probable qu'il avait très peu d'épaisseur et reposait sur une roche solide.

Dans les îles Basses, la pente est beaucoup moindre aux extrémités des atolls les plus allongés que sur leurs parties latérales.

Dans ce dernier archipel (p. 26), la profondeur des lagunes varie de 40 à 76 mètres, et dans le groupe des Marshall, de 60 à 70, d'après Chamisso. Dans les atolls des Maldives, elle est de 90 et même de 98 mètres. Le fond est un sédiment presque horizontal et uniforme. L'argile molle, citée par Kotzebue, est une boue crayeuse ou calcaire semblable à celle des Bermudes, dont nous avons parlé.

(P. 28.) Il est rare qu'il y ait plus de deux ou trois canaux s'ouvrant dans la lagune et assez profonds pour donner passage à un vaisseau. Sous ce rapport, les plus grands atolls des Maldives sont remarquables, à cause des nombreux canaux qui pénètrent dans la lagune. Dans celui de Sudavia (p. 32), par exemple, on compte jusqu'à 42 de ces canaux, par lesquels un vaisseau pourrait entrer. Dans les atolls de la partie nord de l'archipel, les portions de récifs qui séparent les canaux ne sont pas en ligne droite, mais arrondies en anneaux et formant des atolls secondaires en miniature. Sur la côte de l'atoll Tilla-dou-Matte, qui a 88 milles de long sur 20 de large, les anneaux du bord sont généralement allongés ; plusieurs ont jusqu'à 3 et 5 milles de diamètre. Ceux de l'intérieur de la lagune sont moindres, et la profondeur de la lagune de ces petits récifs annulaires est de 10 à 14 mètres. Ces anneaux s'élèvent abruptement de la plate-forme ou banc sur lequel ils sont placés. Leur bord extérieur est toujours occupé par des coraux vivants, et à l'intérieur, est une surface plane sur laquelle des coraux en fragments et accumulés avec du sable forment des îlots recouverts de végétation. En résumé, ces petits atolls ressemblent en tout aux grands, si ce n'est qu'ils reposent sur une base peu profonde, et qu'au lieu d'être irrégulièrement disséminés, ils sont groupés et serrés sur une large plate-forme, dont les bords sont disposés grossièrement en cercle. Lorsqu'il y a peu de canaux ou qu'ils sont étroits, quoique la lagune puisse être fort large, il n'y a point de récifs annulaires.

Dans les Maldives (1), la partie centrale et la plus profonde des lagunes est aussi une boue calcaire. Près des bords, le fond est de sable, et dans les canaux, ce sont des bancs de sable endurci, une sorte de conglomérat et peu de coraux vivants. Près du bord exté-

---

(1) Voyez la description de ces îles par le capit. Moresby (*Bull. Soc. géogr. de Paris*, vol. XV, p. 65. 1841).

Digitized by Google

rieur, le fond est de sable et s'abaisse abruptement à des profondeurs inconnues. Ainsi (p. 35) un grand disque concave, sableux, s'élève rapidement d'une mer sans fond, avec un espace central occupé par des bassins ovalaires de rochers madréporiques, et son bord est symétriquement frangé par des masses semblables qui atteignent la surface de la mer, quelquefois couvertes de végétation et renfermant chacune un petit lac d'eau limpide.

Dans certains atolls, tels que ceux du groupe des Chagos, aucun récif n'atteint la surface de l'eau; dans d'autres, au contraire, on en aperçoit quelques uns. Dans les îles Maldives, la date de la première fondation de quelques îlots est connue des habitants, et l'on sait en outre que plusieurs d'entre eux, même parmi les plus anciens, se détruisent dans l'espace de dix ans.

Les îles Chagos (p. 39) forment un groupe composé d'un certain nombre d'atolls ordinaires, de quelques récifs annulaires s'élevant à la surface, mais sans être surmontés d'îlots, et de plusieurs bancs en forme d'atolls, tout à fait submergés ou à fleur d'eau. Parmi ces derniers, le *grand banc* de Chagos proprement dit est de beaucoup le plus large et diffère de tous les autres par sa structure. Son grand axe est de 90 milles nautiques, et le plus petit de 70. Le centre est un fond plat, vaseux, de 80 à 100 mètres de profondeur, et entouré par des bancs de sable disposés en cercle. Il y a très peu de coraux vivants, et ils sont recouverts moyennement de 12 mètres d'eau. Le tout est bordé à l'extérieur par une digue étroite. En dehors de cette digue ou terrasse, qui est formée d'une roche dure recouverte d'un peu de sable, la pente est rapide et la profondeur de la mer inconnue. Ce grand banc de Chagos paraît n'être qu'un atoll à moitié submergé.

Barrières de récifs (*barrier reefs*).

(P. 41.) Les barrières de récifs qui entourent plus ou moins complétement des îles ont la forme générale et la structure des atolls. Les îles Gambier, d'Oualan, et plusieurs autres, montrent qu'au-delà du récif qui les environne la mer devient sans fond. Sur la côte occidentale de la Nouvelle-Calédonie le capitaine Kent n'a pas rencontré le fond avec une sonde de 300 mètres, à une distance du récif seulement de deux longueurs de vaisseau. La pente serait alors aussi rapide que celle des atolls des Maldives. A Taïti, la largeur du récif est fort irrégulière ; mais autour des îles Vanikoro et Gambier, elle est très constante. Ordinairement le récif s'abaisse à l'intérieur, vers la lagune qui le sépare de l'île. Sous ce

Digitized by Google

rapport, Vanikoro présente une exception : le récif se termine abruptement et forme un mur sous-marin de 13 à 14 mètres de hauteur, comme dans les atolls des îles Marschall, d'après Chamisso. Dans l'archipel de la Société, la plupart des récifs se trouvent placés à un mille ou un mille et demi de la côte. Les montagnes centrales sont environnées par un sol plat, souvent marécageux, et une terre alluviale de 1 à 4 milles de largeur. Ce sol est composé de détritus de polypiers de la lagune, mélangés à des fragments de roches apportés de l'intérieur de l'île. A Hogoleu, dans l'archipel des Carolines, le récif est éloigné des hautes îles qu'il entoure de 20 milles sur le côté sud, de 5 milles sur le côté est, et de 14 sur le côté nord. La profondeur des lagunes allongées ou latérales, placées entre le littoral et le récif, est à peu près la même que celle des lagunes centrales des atolls.

L'élévation des îles entourées de récifs n'a rien de fixe : ainsi Taïti atteint 2,133 mètres au-dessus de la mer, Maurua 243, Aituaki 109, Manouai 15 seulement. La nature géologique du sol n'est pas moins différente. Dans beaucoup de cas, cependant, il est volcanique. Quelques îles n'offrent que des calcaires madréporiques, et d'autres, telles que la Nouvelle-Calédonie, sont de formation primaire. Tantôt on ne voit qu'une seule île entourée de récifs, comme celle d'Eimeo, dans le groupe de la Société ; tantôt il y en a deux, comme Taha et Raiatea, comprises dans la même enceinte de polypiers. Le récif de Gambier entoure quatre îles principales et plusieurs petites. Enfin celui d'Ogoleu circonscrit une douzaine de petites îles éparses dans une grande lagune intérieure.

Quant à leur étendue, M. Darwin cite le récif de la côte occidentale de la Nouvelle-Calédonie, qui a 400 milles de long. Celui de la côte d'Australie se prolonge presque sans interruption sur 1,000 milles, se tenant à 20, 30, 50, et 60 milles de distance de la côte. Le bras de mer qui le sépare de celle-ci a de 20 à 50 mètres de profondeur, et son fond est de sable. En dehors du récif, les eaux sont au contraire très profondes.

Les profils des îles Vanikoro, Gambier et Maurua, construits en supposant que l'inclinaison du sol immergé est à peu près la même que celle qui est au-dessus de l'eau, font voir que les récifs de polypiers doivent descendre jusqu'à une très grande profondeur et qu'ils doivent avoir une épaisseur très considérable, circonstances difficiles à concilier avec l'impossibilité où sont les polypes de vivre au-delà de 100 mètres.

Digitized by Google

(P. 51.) Les récifs frangés ou côtes de récifs qui bordent une île ou une portion d'île peuvent, à la première vue, ne pas différer des barrières de récifs, si ce n'est par leur moindre largeur; mais ils s'en distinguent cependant par l'absence de canal profond à l'intérieur, et par leur rapport direct, dans le sens de leur étendue, avec la pente probable du sol sous-marin.

Récifs frangés (*fringing or shores reefs*).

Les récifs qui entourent l'île Maurice offrent un bon exemple de ce genre. Ils la circonscrivent complétement, excepté sur quelques points où la pente est trop rapide. Les coraux se trouvent à une certaine distance de la côte, parce que celle-ci est très plate, et au-delà de leur ligne, la pente continue à être très faible. En avant de l'embouchure des rivières et des ruisseaux, il y a un étroit passage dépourvu de polypiers. Lorsque la plage s'abaisse très rapidement autour des côtes, les récifs sont beaucoup plus étroits, par suite de la pente du sol immergé, ce qui n'a pas lieu pour les barrières de récifs. Les récifs frangés ou des côtes ont souvent plus de 50 à 100 mètres de largeur; leur surface est presque unie, dure, rarement découverte à la basse mer, et sans canal intérieur.

Après avoir décrit les récifs des côtes orientales d'Afrique et du Brésil, M. Darwin conclut (p. 57) que leurs dimensions et leur structure dépendent du plus ou du moins d'inclinaison du sol sous-marin, et de l'impossibilité où sont les polypes de vivre au-delà d'une profondeur déterminée, d'où il suit que lorsque les eaux sont très profondes, comme dans le golfe Persique et l'archipel des Indes orientales, les récifs perdent leur caractère frangé, et se trouvent isolés ou épars sur des espaces très considérables.

Les coraux croissent plus vigoureusement en dehors qu'en dedans des récifs; ils sont plus élevés au bord externe qu'au bord interne, ce qui leur donne une certaine ressemblance avec les atolls, dont ils diffèrent d'ailleurs par leur forme moins bien arrêtée, par leur surface centrale beaucoup moins profonde, et parce qu'ils reposent sur un sol qui est à une faible profondeur.

(P. 60.) Les îles Bermudes (33° lat. N.) sont le point le plus éloigné de l'équateur où les récifs paraissent exister, et leur présence à cette latitude a même été attribuée à l'influence du gulf stream. Dans l'Océan Pacifique, les îles de Loo-choo (27° lat. N.) ont des récifs sur leurs côtes, et il y a un atoll au nord-ouest de l'archipel des Sandwich (28° 30′ lat. N.) Dans la mer Rouge, les récifs se trouvent par 30° lat. N. Dans l'hémisphère Sud, les coraux ne s'écartent pas autant des mers équatoriales; car on en

Sur la distribution des récifs de coraux et les conditions favorables à leur accroissement.

Digitized by Google

connaît peu au-delà du tropique. Cependant les îles Houtmans Abrolhos, sur la côte ouest de l'Australie, par 29° de latitude, sont formées par des zoophytes.

Le voisinage des roches volcaniques, regardé comme favorable au développement des polypiers, ne paraît pas être une circonstance aussi importante qu'on le pensait, car nulle part les bancs de coraux ne sont plus développés que sur les côtes de la Nouvelle-Calédonie et du nord-est de l'Australie, où les roches appartiennent au terrain primaire. En outre, les plus grands groupes d'atolls, tels que les îles Maldives, Chagos, Marschall, Gilbert et les îles Basses, n'offrent d'autres roches que celles que constituent les polypiers eux-mêmes.

M. Darwin fait remarquer ensuite que toute la côte ouest de l'Amérique, au nord et au sud de l'équateur, de même que les îles Gallapagos, n'ont point de bancs de polypiers, malgré l'élévation de la température. Dans le voisinage de ces diverses îles, du 16 septembre au 20 octobre, la température a varié de 58 à 68° F. (14°,44 à 20° C.), et la moyenne de l'eau de la mer des îles Basses et des atolls de Taïti, quoique plus éloignée de l'équateur, s'est trouvée de 77°,15 F. (25° C.), la plus faible ayant été 76°,5 (24°44 C.) : ainsi une différence de 9°,5 F. (5° C.) dans la température moyenne, et une de 18° F. (10° C.) dans les températures extrêmes, suffisent pour occasionner des modifications correspondantes dans le développement des polypiers.

La proximité des volcans en activité ne nuit point à l'existence des récifs, puisqu'il y en a sur les côtes de l'île d'Hawaii, l'une des Sandwich (1). Toute la côte occidentale de l'Afrique est, au contraire, sans récifs, et il en est de même des îles Ste-Hélène, de l'Ascension, du cap Vert, de St-Paul et de Fernando-Noronha, quoique formées de roches volcaniques semblables à celles de l'Océan Pacifique. Les Bermudes sont les seules îles madréporiques de tout le centre de l'Océan Atlantique, circonstance que l'on ne peut attribuer à l'absence du carbonate de chaux, puisque sur les côtes de l'île de l'Ascension des couches de cette nature se forment

(1) Voyez, à ce sujet : *Voyage autour du monde de la corvette* la Bonite. *Géologie et minéralogie*, par M. E. Chevalier, in-8. Paris, 1844. — *Physico-geogr. Sketch*, etc. Esquisse géologique de l'île d'Oahu, par M. Gairdner (*Edinb. new phil. Journ.*, avril 1835. — *Bibl. univ. de Genève*, 2ᵉ sér., vol. I, p. 143).

Digitized by Google

journellement. Le calcaire est également abondant à St-Iago et aux îles du cap Vert, où il constitue des couches tertiaires soulevées.

On a vu que les Holoturies et certains grands poissons se nourrissaient des parties les plus tendres des coraux; les polypes se nourrissent à leur tour de quelques autres corps organisés, dont la diminution ou la disparition, par une cause quelconque, peut amener celle des coraux eux-mêmes. Les conditions qui déterminent, par conséquent, la formation des récifs sur certaines côtes peuvent être très complexes et tout à fait inexplicables dans l'état de nos connaissances; et des changements dans les conditions des mers, inappréciables pour nous, pourraient détruire tous les récifs de coraux d'un certain espace, et les faire apparaître dans un autre, sans que nous pussions assigner la cause de ces changements.

La partie du récif la plus favorable à l'accroissement des polypiers est son bord extérieur, que les vagues battent constamment. Les coraux vivants ne forment point ailleurs de masses solides un peu considérables. C'est là que se trouvent les Astrées, les Porites, les Millépores, etc., et, d'après M. Ehrenberg, il en est dans la mer Rouge comme dans l'Océanie. MM. Quoy et Gaymard (1) ont, à la vérité, révoqué en doute cette opinion, et leur assertion a passé à tort dans les ouvrages de géologie; mais il est certain que les plus grandes et les plus fortes masses *fleurissent* là où elles sont le plus exposées aux flots. L'état moins parfait des rochers madréporiques de beaucoup d'atolls placés sous le vent et les plus abrités, comparé à celui où ils se présentent, au contraire, lorsqu'ils sont exposés aux vents, confirme pleinement cette conclusion.

Les fonds de sable mouvant sont défavorables aux polypiers, et les sables avec la vase, apportés de l'intérieur par les cours d'eau, contribuent plus que l'eau douce elle-même à empêcher les coraux de se développer à leur embouchure. Ils y forment deux murs abruptes de chaque côté du canal, dont le fond est rempli de vase. On a vu ci-dessus comment les principales espèces de polypiers étaient disposées dans l'atoll des Cocos; à l'île Maurice, le genre Madrépore est dominant, et au-dessous de la zone de coraux massifs, est un lit de Sériatopores. D'après le capitaine Moresby, il y a aussi une différence très prononcée entre les grands polypiers branchus de la mer Rouge et ceux des atolls des Maldives.

---

(1) *Ann. des sc. nat.*, vol. VI, p. 276-278.

Digitized by Google

Proportion de l'accroissement des polypiers.

(P. 71.) M. Ehrenberg (1) avait avancé que, dans la mer Rouge (voy. *posteà*), les coraux recouvrent seulement les roches sous-jacentes d'une couche de 0m,33 à 0m,66 d'épaisseur, ou tout au plus de 1 mètre à 1m,50. MM. Quoy et Gaymard, de leur côté, avaient émis une opinion semblable pour l'île de Timor et d'autres localités (2); enfin un assez grand nombre d'observations étaient déjà rassemblées sur la lenteur avec laquelle s'accroissent les bancs de polypiers, lorsque M. Darwin vint à s'occuper de la proportion de cet accroissement, et à reconnaître qu'elle était singulièrement modifiée suivant les espèces qui construisent les récifs, et par un grand nombre d'autres circonstances. Ce dernier savant cite, entre autres, les expériences de M. Allan, qui planta des polypiers sur la côte orientale de Madagascar, et qui put observer leur accroissement pendant sept mois; puis il déduit des faits nombreux qu'il a constatés lui-même et de ceux qu'il a recueillis : 1° que des masses de rochers, d'une épaisseur considérable, ont été certainement formées dans la période actuelle par le développement des coraux et l'accumulation de leurs détritus; 2° que l'accroissement individuel des coraux et celui des récifs, à la fois en dehors ou horizontalement, et en dessus ou verticalement, dans des conditions particulières favorables, ne sont point lents si l'on vient à les comparer, soit aux oscillations du niveau de la croûte terrestre, soit à une mesure de temps plus précise, mais moins considérable, le nombre des années.

Profondeurs auxquelles vivent les polypiers coralligènes.

D'après les sondages exécutés sur les côtes de l'île Maurice, on a pu reconnaître que le bord du récif est formé de *Madrepora corymbosa* et *pocillifera*, qui descendent jusqu'à 16 ou 30 mètres, avec deux espèces d'Astrées, et à la partie inférieure, se trouve le banc de Sériatopores, voisins du *S. subulata.* De 30 à 40 mètres, le fond est de sable, ou couvert de Sériatopores. A 40 mètres, on a rencontré des fragments de Madrépores et peut-être le *M. pocillifera*, qui vivrait ainsi depuis la surface jusqu'à cette profondeur. Entre 40 et 66 mètres, le fond était de sable, et la sonde portait des empreintes de grandes Caryophyllies. A 172 mètres et à la distance d'une demi-lieue du récif, le fond était de sable calcaire avec un caillou de roche volcanique. Ainsi, dans ces parages, les bancs

(1) *Uber die Natur. und Bildung der corallen Bank im Rothen Mere*, p. 39, 46 et 50.

(2) *Ann. des sc. nat.*, vol. VI, p. 28.

Digitized by Google

de coraux proprement dits ne se forment qu'à une profondeur qui ne dépasse pas 40 mètres (1).

Suivant M. Moresby, les polypiers descendraient, dans la mer Rouge, jusqu'à 50 mètres, quoique M. Ehrenberg ne les cite que jusqu'à 12, ce qui paraît tenir à des circonstances locales. Le plus ou moins de profondeur à laquelle les zoophytes coralligènes peuvent vivre dépend probablement de l'étendue de la surface inclinée que les courants et les vagues peuvent laisser libre de tout sédiment.

MM. Quoy et Gaymard n'ont jamais trouvé d'Astrées, genre qu'ils considèrent comme formant le plus de récifs, au-delà de 8 à 10 mètres. Le *Millepora alcicornis* s'étend de la surface à 24 mètres, et les genres Madrépore et Sériatopore jusqu'à 40. Le *Sideropora scabra* (Porites *id.*, Lam.) vit à 34 mètres. Des masses considérables de Méandrines ont été ramenées de 32 mètres sur les bancs de Bahama, et M. Couthouy (2) en cite jusqu'à 40 mètres de profondeur. Une Caryophyllie a été retirée de 160 mètres par 33° lat. S., mais c'est le seul genre de polypier lamellifère qui s'étende loin au-delà des tropiques : ainsi on en a rencontré par 60° lat. N., et, dans l'hémisphère Sud, dans les eaux profondes qui entourent la terre de Feu.

Dans le tableau que donne M. Darwin (p. 85), et où sont indiquées les profondeurs auxquelles ont été recueillis, sous diverses latitudes, les polypiers que l'on ne peut pas supposer former des récifs solides, on voit que les Cellaires atteignent 380 mètres de profondeur ; les Gorgones, 320 ; le Corail, 200 ; les Rétépores, 80 à 200 ;

---

(1) M. Lloyd (*Proceed. geol. Soc. of London*, vol. III, p. 317) a décrit aussi les bancs de coraux qui entourent presque complétement l'île Maurice, et il a donné des détails, qui s'accordent avec ceux de M. Darwin, sur les murailles verticales bordant les canaux qui communiquent avec les cours d'eau venant de l'intérieur de l'île. De plus, il a fait connaître qu'il existait dans les terres, à une distance assez considérable de la côte, et à 8 mètres au-dessus du niveau de la mer, deux caps ou pointes de coraux, qui présentent les mêmes traces de destruction que les récifs actuellement exposés à l'action des flots. L'observatoire est établi sur un banc de polypier endurci, placé à 3^{m},30 au-dessus de la haute mer, et les blocs de coraux considérables entourés de coquilles marines, que l'on rencontre sur divers points de l'île, font penser à M. Lloyd qu'un soulèvement récent les a portés dans leur position actuelle.

(2) *Remarks on coral Formations*, p. 12. Voyez *posteà*.

Digitized by Google

les Eschares, 60; les Millépores, 188 et 60; les Cellépores, 80; les Sertulaires, 80; les Tubulipores, 188. Ainsi tous ces genres vivent à de plus grandes profondeurs que ceux qui forment des récifs; et les conditions de lumière et de température nécessaires à leur existence sont comprises dans des limites beaucoup plus variées et plus étendues.

Théorie de la formation des récifs.

(P. 88.) La forme et les dimensions d'un grand nombre d'atolls ne permettent pas de leur attribuer pour base un cratère de volcan, et l'auteur n'admet pas non plus l'explication de Chamisso, savoir : que les espèces de polypiers les plus considérables préférant l'effet du ressac de la mer, les parties extérieures d'un récif, en s'élevant d'une base sous-marine, doivent atteindre les premières la surface et former par conséquent un anneau.

De l'extrémité orientale des îles Basses à l'extrémité nord-ouest des îles Marschall, c'est-à-dire un espace de plus de 4,000 milles de long sur 200 à 300 de large; l'archipel des Carolines, qui a 480 milles sur 100; enfin ceux des Maldives, des Laquedives et des îles Chagos, formant ensemble une chaîne de 1,500 milles de long : toute cette immense surface de l'Océan Pacifique et de l'Océan Indien, disons-nous, ne renferme que d'innombrables îles, dont aucune ne dépasse la hauteur à laquelle les actions combinées des vagues et des vents peuvent accumuler les matières solides. Sur quels fondements alors ces récifs et ces îles de coraux ont ils été construits? car au-dessous de chaque atoll, ces fondements devaient dans l'origine se trouver nécessairement à une profondeur limitée, et indispensable au développement des polypiers coralligènes.

Cette base, selon M. Darwin, ne peut être formée par des sédiments dus à l'action superficielle des courants, favorisée par le mouvement ondulatoire des vagues, et la plupart des grands atolls doivent reposer sur la roche même. Mais peut-on admettre, continue le savant voyageur, que de larges sommets de montagnes existent sous chaque atoll, précisément à la même profondeur, sur des étendues aussi considérables, sans qu'aucun de ces sommets ne s'élève au-dessus de l'eau? Où trouver, en effet, à la surface des continents, une chaîne de quelques centaines de milles seulement, dont tous les sommets atteignent des hauteurs qui ne différeraient que de 40 ou 60 mètres? La difficulté serait d'ailleurs à peu près la même, si l'on supposait que les zoophytes pussent vivre plus bas qu'on ne vient de le dire. Mais beaucoup d'atolls peuvent n'avoir pas été submergés en même temps à la même pro-

Digitized by Google

fondeur, et ils auraient été amenés au niveau voulu, tantôt à une époque, tantôt à une autre.

D'après M. Ehrenberg, lorsque des récifs sont soulevés dans la mer Rouge, les parties saillantes sont aussitôt détruites par les vagues ; mais il n'en peut être ainsi pour la base des atolls, car le soulèvement et la destruction d'une île encroûtée de coraux donneraient lieu à une surface plane et non à une surface profondément concave, et l'on apercevrait sur quelques points la roche fondamentale. Pour résoudre cette difficulté, M. Darwin suppose que la base des atolls a été amenée à la position exigée, par suite d'abaissements. Pendant cet enfoncement graduel, les polypes se sont trouvés dans des circonstances favorables à la construction des bancs, et atteignaient la surface, au fur et à mesure que chaque île disparaissait. Les coraux, continuant à s'accroître au-dessus, maintenaient ainsi en apparence le même niveau relatif de la masse. On conçoit, d'après cela, que des espaces très considérables dans les parties centrales et les plus profondes des mers soient remplis d'îlots madréporiques, dont aucun ne s'éleverait plus haut que ne peuvent être portés les détritus amoncelés par les vagues, et néanmoins ils auraient été formés par des coraux qui exigeaient absolument pour vivre un fond solide et une faible profondeur d'eau.

Les motifs qui ont fait rejeter l'hypothèse que les récifs couronnaient des sommets de montagnes sont également applicables à celle des sommets de cônes volcaniques ou bien de cratères élevés, puis démantelés ; des cratères avec de pareilles dimensions seraient d'ailleurs une supposition dénuée de probabilité, d'après ceux que nous connaissons. M. Darwin repousse également l'explication de M. Nelson, qui attribue la forme annulaire aux germes des polypes qui devaient s'attacher en plus grand nombre sur les pentes que sur le plateau central d'un banc sous-marin, et il ne peut admettre non plus l'idée de M. Nelson, émise d'abord par Forster, que les îles lagouns doivent leur forme aux tendances intuitives des polypes. Quant aux preuves réelles et directes de l'abaissement, elles seraient, dit-il, bien difficiles à trouver, si ce n'est dans des pays depuis longtemps civilisés, d'autant plus qu'il s'agit d'un mouvement qui tend précisément à faire disparaître les points sur lesquels il s'exerce.

L'auteur a appliqué (p. 98) d'une manière fort ingénieuse sa théorie de l'abaissement à la formation des barrières de récifs, puis à celle des atolls, en partant des simples récifs frangés, dont la dis-

Digitized by Google

position s'explique d'elle-même ; et il fait voir que ces trois manières d'être des récifs de coraux sont le résultat nécessaire de la transformation successive de l'un dans l'autre, pendant le phénomène de l'abaissement. Si, au lieu d'une île, on supposait la côte d'un continent garnie de récifs simples, l'abaissement produirait ces grandes barrières madréporiques des côtes de l'Australie.

Entre autres preuves à l'appui de son opinion, M. Darwin signale (p. 126) la disposition des atolls qui, encore aujourd'hui, conservent la forme générale, ou du moins la direction des terres autour desquelles ils furent d'abord formés. Ainsi, dans l'Océan Pacifique du Sud, les trois principaux groupes sont dirigés N.-O., S.-E., comme presque toutes les terres de cette partie du globe. Dans l'Océan Pacifique du Nord, les îles Carolines s'appuient contre les atolls nord-ouest des îles Marschall, de la même manière que la ligne est-ouest, des îles Ceram à la Nouvelle-Bretagne, s'appuie à la Nouvelle-Irlande. Dans l'Océan Indien, les îles Laquedives et les atolls des Maldives s'étendent presque parallèlement à la chaîne des Ghates. Il y a de plus un grand rapport entre la forme et la disposition des atolls et celles des îles ordinaires ; ainsi tous sont allongés dans le sens du groupe dont ils font partie.

Outre le phénomène général d'abaissement, l'auteur reconnaît que les récifs frangés sont restés stationnaires, et même qu'un certain nombre d'entre eux ont été soulevés. Ainsi, à l'île Maurice, à Timor, à la Nouvelle-Guinée, dans les îles Mariannes, dans l'archipel Sandwich, et sur un très grand nombre d'autres points, il y a eu des soulèvements à une époque récente, comme le prouvent les lits de coquilles modernes, à des niveaux que la mer n'atteint plus aujourd'hui. L'espace entier qu'occupe la mer Rouge aurait éprouvé un mouvement semblable suivi d'un abaissement, et plusieurs des îles des Amis ne sont que d'anciens atolls qui ont été soumis à des oscillations du même genre. Ces soulèvements du sol sont, comme l'a démontré M. Darwin dans un autre ouvrage dont nous nous occuperons bientôt, en rapport avec le voisinage des volcans en activité. Les volcans se présenteraient donc presque partout où se sont manifestés des mouvements souterrains, et manqueraient au contraire là où la surface s'est récemment abaissée et s'abaisse même encore.

Ainsi, dit en terminant M. Darwin, cet espace compris entre la côte orientale de l'Afrique et la côte occidentale de l'Amérique nous présente un vaste et magnifique tableau des mouvements que l'écorce terrestre a subis dans cette période si récente de la vie du

Digitized by Google

globe. Nous voyons d'immenses surfaces s'élever, avec des matières volcaniques qui s'échappent de toutes parts à travers les fissures de son enveloppe, tandis que des espaces non moins grands s'abaissent lentement, sans manifestation de produits volcaniques ; et nous devons être certains que cet abaissement n'a pas été moins considérable en profondeur qu'en surface, pour avoir enseveli sous les eaux chacune de ces montagnes, au-dessus desquelles les atolls restent encore aujourd'hui comme des monuments qui constatent leur ancienne existence.

Enfin, dans un appendice fort étendu, l'auteur donne encore une description géographique de chaque banc de polypiers, de chaque groupe d'îles madréporiques actuellement connues, et un résumé aussi complet que varié de cette partie de la géographie physique.

M. Maclaren, après avoir rendu compte de l'ouvrage de M. Darwin dans le *Nouveau journal philosophique d'Édimbourg* (1), a fait aux conclusions que nous venons de rapporter les objections suivantes : 1° que les abaissements et les soulèvements ne paraissent pas former de zones déterminées, mais se trouver entremêlés pour ainsi dire dans ces archipels ; 2° qu'on devrait trouver des surfaces d'élévation à tous les états, et que ces passages sont moins fréquemment observés qu'on n'était en droit de l'attendre d'après la théorie et la connaissance que l'on a depuis longtemps de beaucoup de ces récifs ; 3° que, puisque sur les bords d'un grand nombre d'entre eux on ne trouve pas de fond à 600 et 1,000 mètres, il s'ensuit que le récif doit avoir cette épaisseur. On devrait en outre en trouver quelque part sur la terre ferme, puisque toutes les terres ont été submergées à une époque ou à une autre, et cependant sur aucune grande chaîne volcanique on n'a encore observé de bancs de coraux, même de 50 mètres d'épaisseur.

M. Darwin a répondu à ces objections (2) ; cependant la dernière lui a paru la plus forte et n'être pas sans difficulté. Nous ne voyons, quant à nous, aucune nécessité pour que ce qui a lieu aujourd'hui d'une certaine manière et produit certains résultats ait dû se passer de même et produire des résultats semblables à une

---

(1) *Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXXIV, p. 33. 1843.
(2) *Ibid.*, p. 47. — Voyez aussi : *Sur la théorie de M. Darwin, concernant les récifs de coraux*, par P. Mérian (*Ber. ub. d. verh. d. naturf. ges. in Basel.* 1844, vol. VI, p. 58).

Digitized by Google

époque géologique plus ou moins rapprochée. Nous pensons au contraire que pendant la période jurassique il existait sur quelques points de l'Europe occidentale des îlots madréporiques assez semblables à ceux des mers équatoriales de nos jours. Cependant nous n'en trouvons guère d'exemples dans les formations crétacée et tertiaire. L'existence et le développement des bancs de coraux semblent donc tenir à un concours de circonstances qui ne s'est pas nécessairement présenté à toutes les époques, et dont probablement on n'a encore pu apprécier qu'une partie; aussi l'absence de ces récifs ne peut-elle infirmer le raisonnement de M. Darwin.

Travaux divers sur les îles de coraux.

Nous passerons actuellement à l'examen de quelques travaux qui, quoique moins considérables et moins généraux, sont également dignes d'être mentionnés. Sur une certaine étendue, dit M. J.-P. Couthouy (1), les coraux sont limités dans leur extension par la température plutôt que par la profondeur, et partout où cette température n'est pas au-dessous de 76° F. (24,44 C.) ils peuvent, toutes choses égales d'ailleurs, se développer comme dans la Polynésie. Dans l'Océan Indien, de même que dans l'Océan Pacifique, ils sont en outre le plus abondants, et atteignent la plus grande profondeur, dans une zone qui s'étend à 20 degrés de part et d'autre de l'équateur. M. Couthouy, qui ne connaissait encore qu'indirectement les idées de M. Darwin, les regarde comme les seules propres à rendre compte du niveau général que présentent les îles de coraux et de l'impossibilité que les polypiers aient jamais pu construire des bancs à plus de 36 mètres au-dessous de la surface.

Bien que le côté extérieur des récifs ait été souvent décrit comme un mur à pic, il n'en est point cependant toujours ainsi, et l'on observe, en avant et autour des récifs, une succession de terrasses ou de plateaux, dont le plus extérieur est à 22 ou 27 mètres de profondeur, et même davantage. Sa largeur est quelquefois de 30 à 50 mètres. Il incline assez rapidement vers la haute mer, et bientôt on ne trouve plus de fond. C'est sur ces terrasses et sur le bord de la plus élevée, que les coraux sont le plus nombreux, le plus variés, et présentent les couleurs les plus vives. Ce sont des

(1) *Remarks upon coral Formation*, etc. Remarques sur la formation des coraux dans l'Océan Pacifique, avec des inductions sur les causes de leur absence, aux mêmes latitudes, sur les côtes de l'Amérique du Sud; lues à la Soc. d'hist. nat. de Boston, le 15 déc. 1841 (*Boston Journ. of natur. History*, vol. IV, p. 66. 1844).

Digitized by Google

amas de groupes orangés, violets, rouge cramoisi, verts, pourpres, bleus ou jaunes, mélangés confusément, et avec un éclat et un brillant que la plume ni le pinceau ne pourraient rendre. A 5m,50 et 7 mètres, les formes des polypiers ne sont pas moins nombreuses et variées que les couleurs. Les uns sont branchus comme d'élégants arbrisseaux, les autres s'étendent comme les mousses les plus délicates, comme de capricieux lichens; enfin, il y en a qui offrent l'aspect d'un tapis de safran, de marguerites ou d'amarantes, tandis qu'au dedans, au dehors et au-dessus de ces bosquets, de ces jardins de Neptune, se croisent en tous sens, avec rapidité, des milliers de poissons revêtus des couleurs les plus éclatantes.

Les genres de polypiers encroûtants, solides et massifs, se trouvent surtout dans les parties exposées aux vagues les plus violentes. Sur le plateau supérieur, il n'y a en général que de petites espèces qui l'emportent de beaucoup sur les Astrées. Sur le bord et le long des crevasses, on observe des Goniopores, des Porites et des Pavonies, qui disparaissent en s'éloignant du ressac et qui sont remplacées par les Madrépores. La plus grande partie du plateau est encroûtée de Nullipores et d'un dépôt de carbonate de chaux lamelleux, dans lequel sont engagées une multitude de Tridacnes. Les crustacés et les échinodermes se trouvent partout à profusion sur les récifs, mais les mollusques y sont généralement moins nombreux.

Le capitaine Wilkes (1), commandant l'expédition américaine au pôle austral, a, dans la relation de ce voyage (vol. IV), émis sur les îles de coraux une manière de voir tout à fait différente de celle de M. Darwin, mais qui, d'après les renseignements que nous possédons (car nous ne connaissons pas l'ouvrage), ne semblerait pas être établie sur une étude bien profonde du sujet.

M. J. Dana (2) a cherché à rendre compte de l'espèce d'anomalie que présente le développement des récifs de coraux, relativement à la latitude, par l'influence thermométrique des courants marins. Ainsi les polypiers des îles Bermudes seraient favorisés par le voisinage du gulf-stream, tandis que leur absence autour des îles Gallapagos, situées presque sous l'équateur, serait la conséquence de l'abaissement de température que produit dans ces parages

---

(1) *L'Institut*, 26 mars 1845, p. 120.
(2) *On the temperature*, etc. Sur la température qui limite la distribution des coraux (*Amer. Journ.*, vol. XLV, p. 130. 1843).

Digitized by Google

le courant méridional des côtes de l'Amérique du Sud. Ce dernier, pendant plusieurs saisons de l'année, maintient l'eau à 60° F. (15°,56 C.) au lieu de 66° F. (18°,89), limite de température nécessaire à la formation des récifs.

Ceux-ci sont aujourd'hui confinés entre 28° lat. N. et S. Cependant il y en a près de Madère, à Porto-Santo, où l'eau descend, en hiver, à 58° F. (14°,44 C.); mais à l'époque tertiaire, et plus encore pendant la période jurassique, la limite remontait beaucoup plus au N. (1). Sur les côtes occidentales de l'Amérique, la zone des coraux est réduite à 16° de latitude en largeur, et sur celle de l'Afrique à 12°, tandis que dans le milieu de l'Océan la zone a 56° de largeur, et sur la côte d'Asie et de la Nouvelle-Hollande 64 (2).

Les courants extratropicaux, comme ceux des îles Gallapagos, se trouvent sur les côtes occidentales des deux continents, au nord et au sud de l'équateur, et les courants intertropicaux peuvent être tracés de même sur les côtes orientales : aussi la zone des coraux est-elle resserrée, comme on vient de le voir, sur les côtes ouest, et plus élargie, au contraire, sur les côtes est. La distribution des animaux marins est fortement influencée par la direction des courants, et celle des îles de coraux, si irrégulière au premier abord, ne serait que le résultat de la disposition des courants chauds et des courants froids.

Dans un autre travail *Sur la surface abaissée de l'Océan Pacifique, indiquée par la distribution des îles de coraux* (3), le même naturaliste a confirmé la théorie de M. Darwin, relativement à formation des atolls; mais il pense que, dans la partie où ce dernier a établi sa théorie d'élévation ou d'abaissement, il existe des preuves de mouvements contraires. Il ne trouve pas non plus justifié ce principe : que les îles avec des barrières de récifs s'abaissent pendant que les récifs frangés s'élèvent. M. Dana reconnaît d'ailleurs que, sans la manière d'expliquer le mode de formation des récifs et des îles de coraux, proposée par le savant voyageur anglais, on ne pourrait concevoir des massifs de plus de 30 à 40 mètres de profondeur, tandis qu'on sait qu'ils ont une épaisseur infiniment plus grande.

En tirant une ligne E.-S.-E. de la Nouvelle-Irlande aux îles de

(1) *Amer. Journ.*, vol. XLV, p. 145. 1843.
(2) *Ibid.*, p. 310.
(3) *Ibid.*, p. 131.

Digitized by Google

la Société et aux îles Gambier, on trouve au nord de cette ligne, et à quelques exceptions près, des îles exclusivement madréporiques, au lieu que vers le sud, ce sont en général des îles basaltiques élevées, bordées de récifs très étendus, dans le voisinage même de la ligne dont on vient de parler. En outre, les îles placées vers le nord sont fort petites ; souvent même elles sont réduites à des points, tandis que près de la ligne elles ont jusqu'à 30 et 40 milles de long.

Les atolls, au fur et à mesure qu'ils s'abaissent, deviennent plus petits, se réduisent à un simple rocher, et disparaîtront tout à fait, si la proportion de l'abaissement est plus rapide que celle de l'accroissement des polypiers. Or, il y a sous l'équateur un grand espace presque libre, depuis les îles de la Société jusqu'aux Sandwich, d'où l'on pourrait induire, d'après M. Dana, que le phénomène de l'abaissement y a été plus rapide et de plus longue durée qu'au sud, où les îles sont grandes et nombreuses. L'abaissement se serait manifesté dans l'Océan Pacifique, du 30° N. au 3° S., et peut-être au-delà. Il aurait été le plus rapide entre les îles Sandwich et l'équateur ; puis, diminuant graduellement d'intensité au S.-O., le long de la ligne précédente E.-S.-E., il n'était déjà plus assez prononcé pour submerger beaucoup de sommets de montagnes, et plus au S., son effet était encore moindre.

Les mers de la côte nord-ouest de la Nouvelle-Hollande nous montrent, par leurs récifs, un abaissement contemporain, et l'auteur estime à 15 millions de milles carrés l'étendue de l'espace soumis à cet abaissement dans le grand Océan et dans quelques parties des Indes occidentales. Il remarque ensuite que la région du plus grand abaissement est dirigée O.-N.-O., et l'ensemble des principaux groupes d'îles est aussi disposé de l'O.-N.-O. à l'E.-S.-E. Les îles Sandwich, qui sont toutes volcaniques, sont disposées par ancienneté du N.-O. au S.-E., et c'est vers l'extrémité sud-est du groupe que se trouvent les volcans encore en activité. Dans les îles des Navigateurs, ce serait l'inverse, et peut-être en est-il aussi de même dans celles de la Société, circonstance en rapport avec le phénomène d'abaissement qui s'est produit dans l'espace intermédiaire.

L'époque à laquelle ces changements ont eu lieu et celle à laquelle ils ont cessé ne peuvent être déterminées d'une manière précise ; mais diverses considérations portent à les regarder comme appartenant à la fin de l'époque tertiaire, et peut-être le soulèvement des dépôts de cet âge le long des Andes et dans l'A-

Digitized by Google

mérique du Nord pourrait-il avoir contre-balancé l'abaissement de l'Océan Pacifique.

M. J. Couthouy, après une assez longue discussion avec M. J. Dana, relativement à la formation des îles de coraux et aux latitudes comme aux profondeurs où peuvent vivre les polypiers qui les forment, est revenu sur ce sujet dans un article du journal de M. Silliman (1). Mais nous n'y avons trouvé aucun fait nécessaire à mentionner, car les résultats généraux que nous avons présentés paraissent être admis par ces deux voyageurs, qui faisaient d'ailleurs partie de la même expédition scientifique.

La circonférence de l'île de Lafû, l'une des îles du groupe de *Loyalty*, à l'est de la Nouvelle-Calédonie, est de 90 milles, et sa base, d'après M. B. Clarke (2), est entourée d'un récif étroit de coraux ou espèce de banquette, dont la profondeur s'accroît graduellement pendant l'espace d'un quart de mille. Il y a au-delà une pente rapide, et bientôt la sonde ne rencontre plus de fond. Toute l'île est formée de coraux morts, et elle est recouverte par places d'une riche végétation. Sa hauteur moyenne est de 40 mètres; quelques parties abruptes de la côte orientale atteignent 80 mètres au-dessus de la mer. Vers le bas, on trouve des blocs de roches calcaires récentes, identiques à celles des diverses parties du grand récif. La ressemblance de ces roches avec la craie paraît d'ailleurs être très remarquable. Depuis 16 jusqu'à 30 mètres, les roches sont principalement composées de coraux, et les parties les plus élevées, jusqu'à 80 mètres, sont formées d'Astrées, dont les cavités sont remplies de coquilles et d'autres détritus marins.

La disposition des lignes d'ancien niveau, marquées par des plates-formes de coraux, montre que l'île a été soulevée en masse à deux reprises différentes, et sans que ses couches aient été dérangées. La dernière de ces plates-formes se trouve à 25 mètres au-dessus du niveau actuel de la mer, et la plus ancienne, à 56 mètres. Aucun changement notable ne paraît d'ailleurs avoir eu lieu à la surface de l'île depuis son élévation.

L'existence des Astrées dans la baie de Port-Jackson tend à prouver en outre, comme le remarque M. Clarke, que ce genre peut se développer encore dans des eaux peu profondes, et dont la température est inférieure à celle de l'Océan, où abondent les récifs

---

(1) *Amer. Journ.*, vol. XLVII, p. 123. 1844.
(2) *Quart. Journ. geol. Soc. of London*, vol. III, p. 61. 1846.

Digitized by Google

En effet, la température moyenne de la mer, à Port-Jackson, se maintient entre 60 et 70° F., c'est-à-dire en général, au-dessous de celles qui ont été assignées par M. Couthouy (76° F.) et par M. Dana (66° F.).

M. Ehrenberg a publié, en 1834, les recherches qu'il fit, en commun avec M. Hemprich, sur les polypiers de la mer Rouge (1). Dans les années 1823 à 1825, ces deux naturalistes visitèrent 150 îles ou localités différentes, sur une longueur de près de 200 milles, et réunirent 110 espèces de polypiers, c'est-à-dire près de trois fois plus qu'on n'en connaissait d'après les voyages de Forskall, Show, Savigny et Ruppell. Sur ce nombre, 2 seulement se retrouvent dans la Méditerranée, sur la côte la plus voisine de celle de la Lybie. Bancs de coraux de la mer Rouge.

La mer Rouge diffère des autres mers intérieures et de l'Atlantique en ce que toutes ses côtes sont bordées de rochers plats, presque toujours à fleur d'eau. Ces bancs sont recouverts de polypiers disposés d'une manière continue, le long de la côte, ou sur des lignes parallèles. C'est sur la côte arabique, de Tor à Camfuda, que les polypiers abondent principalement. Dans la partie la plus profonde de la mer, entre Djedda, sur la côte d'Asie, et Cosséir, sur celle d'Afrique, ils ne forment point de bancs, et il en est de même dans tous les endroits où les eaux ont une grande profondeur, tandis que les points peu profonds en présentent beaucoup. L'abondance des coraux sur la côte d'Arabie s'accorde avec une plus grande quantité d'îles de ce côté et avec les preuves plus nombreuses aussi d'éruptions volcaniques, qui manquent de Cosséir à Massava.

Les bancs de coraux se maintiennent entre 1 et 4 mètres au-dessous de la surface de l'eau, et au lieu d'être un peu plus élevés du côté extérieur, le plus exposé à la lame, on les voit souvent s'abaisser en pente douce vers le fond de la mer. Ils n'élèvent d'ailleurs ni atolls ni barrières de récifs au-dessus des eaux. Près du bord extérieur du banc de coraux de la côte arabique, la profondeur de la mer est de 200 mètres et davantage. Ces bancs ne sont

(1) *Uber die Natur und Bildung.*, etc. Sur la nature et la formation des îlots et des récifs de coraux de la mer Rouge, in-8. Berlin, 1834. Cet ouvrage a été traduit en anglais dans le *Journal of the Bombay branch roy. asiat. Soc*, n° 3, janvier 1842, p. 129, n° 2, p. 72, et n° 6, p. 322, 1844. C'est de ce dernier numéro que nous avons extrait les détails que nous donnons ici, le n° 3 traitant de la partie historique du sujet.

Digitized by Google

pas toujours contigus à la côte ; ils forment souvent, à une distance de plusieurs milles, des bandes étroites et parallèles.

La forme des récifs résulte de la constitution géologique de la côte et du fond. Partout où cette base a pu être atteinte, M. Ehrenberg a reconnu qu'elle consistait, soit en produits volcaniques, soit en un calcaire très dur, quelquefois poreux et tendre, évidemment composé de fragments d'animaux marins agglutinés, mais distincts des coquilles et des coraux qui vivent au-dessus. Les autres petites îles plates et si nombreuses, quoique ressemblant à des bancs de coraux, sont formées d'une roche dure, recouverte de collines de sable plus ou moins élevées. Les îles volcaniques de Ketumbul, sur la côte arabique, dans la partie sud de la mer Rouge, de Hakel, sur la côte d'Abyssinie, et de Gebel-Taer ou Sebaln, toutes trois peu élevées, sont entourées de coraux.

Les bancs madréporiques recouvrent la surface de toutes les roches, depuis le milieu du golfe de Suez ; mais on n'en trouve pas sur les fonds de sable. Lorsqu'on peut les voir à la basse mer, dans des circonstances favorables et par un temps calme, ces vastes surfaces de coraux ressemblent à des prairies émaillées de fleurs. Ce sont des Madrépores, des Rétépores, des Millépores, des Astrées, des *Favia*, des Caryophyllies, des Méandrines, des Pocillopores et des *Stephanocora*, mélangés de coquilles aux couleurs vives et variées, de Perlières, de Fongies, de débris de poissons, puis d'Holoturies, d'Actinies, de Xénies, d'Alcyonies, et d'une immense quantité d'annélides et de *Tubularia*.

M. Ehrenberg n'a jamais trouvé de masses formées par l'accroissement graduel de diverses générations les unes sur les autres, dépassant la hauteur qu'une branche seule de la même espèce pourrait atteindre. Presque toujours, en écartant les branches de coraux, il a trouvé le calcaire stratifié qui constitue la base des montagnes de la plupart des îles et des pays environnants. Les polypiers concourent sans doute à l'accroissement des bancs de la mer Rouge ; mais l'auteur est parfaitement convaincu que cela n'a pas lieu par masse ni par couche. Cet accroissement semble être plutôt le travail de l'animal en particulier et de sa famille. Ainsi que les plantes et les bois morts, les polypiers n'augmentent point la masse de toute leur hauteur, comme si les nouvelles générations croissaient sur les plus anciennes, mais seulement de quelques pieds de détritus, qui représentent à la fois des milliers d'années et des

Digitized by Google

milliers de générations éteintes. D'après cela les polypiers contribueraient en quelque sorte davantage à protéger et à couvrir les îles qu'à les élever ou à les étendre.

Les coraux vivants ne se développent pas au milieu des branches ou parmi d'autres coraux vivants ; et cette répulsion serait contraire, ajoute M. Ehrenberg, à cette opinion que des générations accumulées constituent les îles de l'Océan Indien ; car rien de semblable n'a lieu dans la mer Rouge.

En résumé, dit-il plus loin, quant à l'influence des coraux sur la formation des îles de cette mer, il n'y a pas une seule de celles-ci qui soit dans un état réel d'accroissement ; toutes, au contraire, tendent à se détruire, et les coraux, en servant de revêtement aux roches sous-marines, contribuent à leur conservation. Leur action se borne donc à retarder ou à empêcher la destruction des îles, mais elle n'en élève réellement pas. Les bancs de coraux fossiles ne sont que l'agrégation de masses détruites après la mort des animaux. Ainsi, dans la mer Rouge, on ne peut constater nulle part que les polypiers aient relevé le fond, envahi des passes, etc... Ces effets, s'ils ont eu lieu sur quelques points, doivent être attribués aux sables.

Nous avons placé immédiatement après les observations de MM. Nelson, Darwin, Couthouy et Dana celles de MM. Ehrenberg et Hemprich, quoique celles-ci soient antérieures en date, pour faire mieux sentir combien étaient différentes les conclusions auxquelles étaient arrivés ces voyageurs, également distingués et instruits, mais qui ont étudié les produits d'une même classe d'animaux dans des conditions très diverses. Les généralisations émises par les uns et les autres peuvent donc être prématurées et manquer d'exactitude à certains égards ; mais si l'on compare l'immensité de l'espace que comprennent les recherches des savants anglais et américains, la variété des circonstances qu'ils ont pu apprécier, depuis la côte orientale de l'Afrique jusqu'aux plages du nouveau monde, la grandeur de l'échelle sur laquelle s'y opère la construction des récifs, et l'énergie vitale dont paraissent doués ces milliards de petits animaux luttant sans cesse contre les flots d'un Océan sans bornes et sans fond, si l'on compare, disons-nous, ces diverses circonstances avec le petit bassin resserré de la mer Rouge, qui a été le champ des observations intéressantes du savant micrographe de Berlin et de son collaborateur, on sera porté à regarder les résultats de ces derniers plutôt comme l'exception que comme la règle, ex-

Digitized by Google

ception que la disposition des lieux expliquerait parfaitement bien, ainsi que la différence des espèces.

Récifs de l'île Bourbon.

Pendant les observations qu'il a faites, en 1839 et 1840, à l'île Bourbon, M. Siau (1) a remarqué que les Madrépores construisent, sur le fond volcanique et inattaquable par les lames, des mamelons détachés qui s'élèvent à deux ou trois mètres, par le travail de plusieurs générations. Ces mamelons, nommés dans le pays *pâtés de coraux*, tantôt se joignent et se réunissent, tantôt laissent entre eux des vides qui se remplissent de sable et de graviers, et que l'on nomme *rigoles de sable*. Il y a d'ailleurs une grande différence dans la hauteur des *pâtés*, et le récif, au lieu de présenter des bancs d'une épaisseur régulière, n'offre qu'un entassement uniforme de monticules dont les intervalles sont, comme on vient de le dire, remplis de matières meubles. La roche madréporique ainsi formée est grise, très serrée, compacte, et d'une grande dureté. Les vagues ne peuvent l'attaquer, et elle ne se dissout pas complétement dans les acides. M. Élie de Beaumont a fait, à la suite de cette communication, quelques remarques sur les rapports qui paraissent exister entre la limite inférieure de l'action des vagues et celle à laquelle peuvent vivre les animaux attachés au sol sous-marin et obligés d'attendre leur nourriture au passage.

Récifs du golfe du Mexique.

M. Hovey (2) a décrit rapidement les récifs de coraux qui forment une ceinture à fleur d'eau autour de l'île Ste-Croix. Il en est de même autour de l'île de Cuba, où les bancs sont interrompus çà et là par des canaux qui permettent aux navires d'entrer dans les ports. Ces fortifications naturelles défendent l'île mieux que ne le pourraient faire des ouvrages d'art.

Végétation des îles de coraux.

Les premiers végétaux qui s'établissent sur les îles de polypiers, dit M. Moerenhaut (3), sont d'abord quelques herbes isolées; puis vient le *Fara* ou *Pandanus odoratissimus*, qui prend racine entre les débris des polypiers, et recouvre de son beau feuillage ces côtes à peine sorties des eaux, en même temps qu'il embaume l'air de son parfum.

Composition des récifs de coraux.

M. Dana (4) a constaté, à plusieurs reprises, la présence de la magnésie dans les produits calcaires des polypiers, et telle serait

(1) *Comp. rend.*, vol. XII, p. 770. 1841.
(2) *Amer. Journ.*, vol. XXXV, p. 64. 1838.
(3) *Bull. de la Soc. de géographie*, 2ᵉ sér., vol. III, p. 31. 1835.
(4) *Amer. Journ.*, vol. XLVII, p. 135. 1844. — Voyez aussi: *Id.*, 1 mars 1846, p. 189. — *Jameson's Edinburgh Journ.*, avril

Digitized by Google

pour lui l'origine d'un grand nombre de calcaires magnésiens. Il y signale de même l'acide phosphorique dans la proportion de 9 à 10 pour 100; aussi regarde-t-il les calcaires primaires comme des roches de sédiment altérées et d'origine corallienne. Le phosphate de chaux, que l'on y rencontre sous forme d'apatite, proviendrait encore de la même source. De plus, M. Silliman y a constaté l'existence du fluor.

Distribution générale des polypiers dans les mers actuelles.

Enfin le même savant, dans son ouvrage publié en 1846 (1), fait voir (p. 103) que les polypiers appartenant à la famille des Astrées, à celle des Madrépores, et les Gemmipores, sont, à peu d'exceptions près, limités aux mers de coraux, et ne descendent pas au-delà de 40 mètres de profondeur. Les *Caryophyllidæ* s'étendent de l'équateur à la zone froide, et quelques espèces descendent à des profondeurs de 400 mètres et même davantage. Les Alcyoniens parcourent une aussi grande étendue et remontent probablement plus haut encore vers les pôles. Les *Hydroideæ* que l'on rencontre de l'équateur aux régions polaires, abondent particulièrement dans les zones tempérées.

Les coraux sont en outre distribués suivant certains centres ou lieux particuliers. Les espèces des Indes occidentales sont propres à ces régions, et aucune d'entre elles ne peut être identifiée spécifiquement avec celles des Indes orientales. Les parties centrales de l'Océan Pacifique semblent avoir aussi leurs espèces particulières, et l'on peut établir comme un fait général, dit M. Dana, que beaucoup de polypiers se trouvent limités dans leur développement à de petites étendues. Sur 306 espèces recueillies dans les Indes orientales et l'Océan Pacifique, 27 seulement sont communes aux deux mers, et entre le Grand Océan et l'Atlantique il n'y en a aucune (2).

§ 2. Dépôts coquilliers.

Bien qu'il paraisse difficile au premier abord de séparer les dépôts coquilliers qui se forment actuellement sur les côtes des alluvions

---

1846, p. 243. — *Arch. des sc. phys. et nat., suppl. à la Bibl. univ. de Genève*, avril 1846, p. 319.

(1) J. Dana, *Structure and classification*, etc. Structure et classification des zoophytes, in-4. Philadelphie, 1846.

(2) Voyez aussi Stutchburgh, *Sur les récifs de coraux* (*The west of England Journ. of sciences and litter.*, p. 4. 1839 ou 38?). — William Jck, *On coral reefs*, etc. Sur les récifs de coraux et leurs architectes (*Mining Journal*, n° 395).

Digitized by Google

sableuses, des deltas, des dunes, des plages de galets, etc., nous croyons cependant utile de les décrire séparément, à cause des considérations particulières auxquelles ils peuvent donner lieu, surtout par rapport au mode de distribution des animaux marins, et en particulier des mollusques. En outre, l'action des vents et l'influence des cours d'eau qui apportent les sédiments des terres émergées agissent moins directement sur ces produits que sur les autres, dûs uniquement à des agents mécaniques, et ces motifs peuvent justifier encore la distinction que nous faisons ici, sans toutefois y attacher une grande importance.

Mollusques. Angleterre.

M. R.-A. Cloyne Austen a publié un mémoire *Sur la géologie du sud-est du Devonshire* (1), dans lequel il s'est attaché à démontrer que les estuaires, à une époque antérieure, étaient plus considérables qu'ils ne le sont aujourd'hui, et que certaines vallées actuelles des bords de la mer ne sont que d'anciens estuaires. Les espèces de mollusques qui vivent dans les anses de la côte, où les eaux des rivières et des ruisseaux viennent se réunir à celles de la mer, sont peu nombreuses. Le *Mytilus edulis* vit près des ouvertures qui avoisinent le plus l'eau salée. Le *Cardium edule*, la *Mactra compressa*, les *Venus verrucosa* et *reflexa*, remontent plus haut et sont très répandus.

A la marée basse, et lorsque les eaux de la rivière sont hautes, ces coquillages sont recouverts par l'eau douce et n'en souffrent pas. A l'ouest de Teignmouth, des *Pholas dactylus*, très nombreuses dans les bancs de grès calcarifère, sont recouvertes à la basse mer par un courant d'eau douce. Il en est de même des Tarets qui ont entièrement détruit les piles du pont de Teignmouth, où l'eau douce les entoure pendant plusieurs heures.

Les *Unio* et les autres genres fluviatiles ne paraissent pas descendre dans les estuaires, et il y a toujours un espace assez considérable dépourvu de coquilles, ce qui rendrait compte de leur rareté dans les vallées que la mer abandonne actuellement.

Les dépôts, sur les bords de la mer, varient avec la profondeur, et les matériaux les plus volumineux se trouvent quelquefois audelà de la ligne de 20 mètres. Jusqu'à celle de 40, les sables décroissent de grosseur, et plus loin on ne rencontre que de la vase. Dans les dépôts actuels l'*Osmonda regalis*, plante très abondante

(1) *On the geology*, etc. (*Transac. geol. Soc. of London*, vol. VI, p. 433. 1842).

Digitized by Google

dans le sud et dans l'ouest de l'Irlande ainsi que dans la vallée de Dart, au-dessus d'Ashburton, ne se trouve pas entraînée par les courants à l'est de la Teign. 26 espèces de poissons de ces côtes, communes à la Méditerranée, ne se rencontrent pas non plus dans les eaux à l'est de West-Bay, et les coquilles qui caractériseront ces mêmes dépôts dans les âges futurs renfermeront jusqu'à 70 espèces communes à la Méditerranée. C'est ainsi, dit M. Austen, que les faluns de la Touraine diffèrent de leur contemporain, le crag du Suffolk, par les caractères plus méditerranéens des coquilles, et que les dépôts actuels du sud du Devonshire et du Cornouailles diffèrent de ceux des mers du Nord et de l'Allemagne. L'auteur termine son travail par la liste des espèces trouvées dans les dépôts modernes et y ajoute l'indication de celles qui ont leurs analogues vivants dans la Méditerranée, ou fossiles dans les faluns tertiaires moyens de la Touraine et de Bordeaux, ou bien dans les couches tertiaires supérieures d'Italie et de Sicile. Il est probable que le nombre des espèces communes mentionnées ici pourra subir quelques modifications et être réduit, par suite d'un nouvel examen comparatif.

Les buttes coquillières de St-Michel-en-l'Herm (Vendée), connues par le mémoire que M. Fleuriau de Bellevue a publié en 1814, ont été de nouveau l'objet des recherches de M. Rivière (1), qui les regarde comme de l'époque actuelle et contemporaines des ossements humains qui y ont été enfouis. M. Coquand (2) a constaté la contemporanéité de ces derniers, mais, suivant lui, ils auraient été enterrés dans les buttes depuis leur formation. France.

M. R.-A. Philippi a publié un ouvrage sur les coquilles subfossiles de Pouzzoles et d'Ischia (3) qui sont toutes de la Méditerranée, à l'exception du *Diplodonta dilatata* de la mer Rouge. Italie.

M. Ed. de Verneuil (4) a indiqué, dans la partie méridionale de la Russie, un dépôt coquillier très moderne et qui se forme peut-être encore aujourd'hui. Toutes les coquilles qui le composent sont identiques à celles qui vivent dans la mer Noire. Crimée.

Sur la côte orientale de la mer Caspienne, on trouve fréquemment des accumulations de ce genre. M. Felkner (5) les décrit comme étant composées de conglomérats, de grès et de calcaires, Asie.

(1) *Dictionn. pitt. d'hist. nat.* — *Bull.*, vol. VI, p. 224. 1835.
(2) *Bull.*, vol. VII, p. 147. 1836.
(3) *Neu. Jahrb.*, 1837, p. 285.
(4) *Mém. Soc. géol. de France*, vol. III, p. 10. 1839.
(5) *Annuaire du Journ. des mines de Russie*, vol. V, p. 143. 1838.

Digitized by Google

avec des amas de sable, des dépôts de sel et de coquilles brisées (*Cardium rusticum*, *C. triquetrum*, *Mya edentula*, *Mytilus polymorphus*).

M. W. Ainsworth (1) a fait connaître les dépôts marins coquilliers récents des côtes à l'est d'Ayas, et a observé la manière dont se forment les bancs de sable et de coquilles sur les plages du Farsistan et du Khousistan. Les sédiments modernes qui limitent le delta de la Susiane reposent sur les roches tertiaires des Apennins de la Perse.

Afrique orientale.

C'est aussi à l'époque actuelle que M. Newbold (2) paraît rapporter les couches qui entourent le fond du golfe de Suez et s'étendent sur une longueur de 4 à 5 milles, entre la mer Rouge et les falaises qui bordent la côte à l'O. Ces roches s'élèvent parfois à 20 mètres au-dessus de la mer et sont composées de débris de coquilles, de radiaires et de polypiers vivant encore sur la côte voisine. Cosséir et plusieurs autres villes sont bâties sur ces couches, regardées comme soulevées lentement par un mouvement qui se continuerait de nos jours. D'autres accumulations ont encore lieu sur le pourtour de la mer Rouge. Le long de la côte occidentale on en trouve de 1 à 2 mètres au-dessus de l'eau, recouvrant un banc de polypiers et renfermant des ossements de chameau. M. Newbold rappelle aussi l'existence de bancs coquilliers récents sur les côtes de la Sicile, de la Grèce, de l'Asie mineure et de l'île de Rhodes. Des fragments de poterie auraient été rencontrés dans ce dernier gisement Il serait possible qu'une partie des faits que nous venons de rapporter appartinssent à l'époque des plages soulevées, époque qui a précédé immédiatement, et peut-être sans interruption, celle dont nous nous occupons.

Algérie.

« Les dépôts marins, dit M. Renou (3), se continuent aussi sur » les côtes et donnent sur quelques points des signes certains des » mouvements du sol à des époques géologiques récentes, et même » depuis l'époque romaine. Il est d'ailleurs fort probable que les » mouvements se continuent actuellement comme par le passé. Les » plus anciens de ces dépôts sont ceux des environs de la Calle, de

---

(1) *Researches in Assyria*, etc. Recherches dans l'Assyrie, la Babylonie et la Chaldée, in-8. Londres, 1838. — Voyez aussi : *Mem. on a Survey*, etc. Mémoire sur une exploration de la côte de Caramanie, par le capit. Beaufort. 1820.

(2) *On the geology of Egypte*, etc. Sur la géologie de l'Égypte (*Proceed. geol. Soc. of London*, vol. III, p. 782).

(3) *Ann. des mines*, 4e sér., vol. IV, p. 534.

» la plaine de Bône, de la Mitidja, des plaines qui environnent » Mostaganem et Oran. » Aux portes de Bône, sous la terre végétale et les débris de matériaux romains, se trouve une couche d'argile grise avec des coquilles marines aussi bien conservées que sur la plage. Le sable, agglutiné par un ciment calcaire, donne un grès dans lequel se trouvent des fragments de poterie. A l'est de la Calle, ce dépôt atteint 7 à 8 mètres au-dessus de la mer et s'étend jusqu'à une lieue dans les terres. Un sable fin avec *Cardium edule* se voit sur le bord des salines d'Arziou. Dans la province d'Oran le relèvement aurait atteint jusqu'à 75 et 80 mètres.

Quoique M. Renou n'y ait point trouvé de coquilles marines, il pense que la plaine de la Mitidja appartient aussi à cette époque. Les cavernes de Bir-Khâdem et de Bir-Madreis renferment beaucoup d'ossements. Dans l'une d'elles il a recueilli des os de mammifères, des vertèbres de Squales et des débris de l'industrie humaine, le tout empâté dans le même ciment; d'où il conclut que cette caverne se trouvait sur le bord de la mer depuis l'apparition de l'homme, et que le relèvement du sol a été de 132 mètres environ. Presque toute la Mitidja est inférieure à ce niveau. Vers Blida, les mêmes dépôts se relèvent encore davantage, et au pied des montagnes qui dominent cette ville, ils auraient atteint une hauteur de 300 mètres. Les grès de Philippeville, ajoute M. Renou, sont en voie de formation et ont empâté des briques et même de grosses pierres de taille romaines. Ils sont aujourd'hui au-dessus du niveau de la mer, et leur relèvement paraît avoir été d'environ 2 mètres. Sans doute l'auteur développera d'une manière plus détaillée qu'il ne l'a fait dans ce mémoire les observations qui l'ont conduit à admettre de pareils changements pendant notre époque, changements dont plusieurs dépasseraient de beaucoup les proportions de tous ceux que l'on est parvenu à constater avec quelque précision.

MM. Webb et Berthelot (1) ont annoncé que des oolites, aussi parfaitement caractérisées que celles des couches jurassiques de France et d'Angleterre, se formaient journellement sur les plages de la Grande-Canarie, sur celles de Ténériffe, de Fortaventura, de Lancerotte, de Madère, etc., dans les parties exposées à l'action des vents alisés. Les débris de coquilles sont agglutinés par du carbonate de chaux que dissout l'eau de pluie ou l'eau de mer. La Iles Canaries.

(1) *Histoire natur. des Canaries*, vol. II, p. 365. Paris, 1839.

Digitized by Google

roche, blanc-jaunâtre et compacte, quand elle est uniquement formée de coquilles, devient très poreuse, lorsque par l'action des vents elle est mélangée de sable et de débris volcaniques. Elle sert alors de pierre à filtrer dans toutes les Canaries. Dans l'intérieur des terres, l'agglutination du sable enveloppe aussi des coquilles terrestres et surtout l'*Helix sarcostoma ;* mais alors la roche n'a plus aucun caractère oolitique.

Ile de l'Ascension. Pendant son voyage à bord du *Beagle*, M. Ch. Darwin (1) a remarqué qu'il se formait, sur divers points des côtes de l'île de l'Ascension, d'immenses accumulations de débris de coquilles et de coraux, blanc-jaunâtre et mélangés de particules volcaniques. A quelques pieds de profondeur, ce sédiment moderne a déjà acquis assez de solidité pour être employé dans la bâtisse. Quelquefois même il se divise en feuillets d'un centimètre d'épaisseur et tellement compactes que la pierre résonne sous le marteau comme un silex. Cette cimentation rapide est produite par de la matière calcaire, et la densité de la pierre, qui se forme d'une année à l'autre, est presque égale à celle du marbre de Carrare. Les fragments de roches volcaniques épars sur la plage s'encroûtent également de matière calcaire.

Amérique du Nord. Plusieurs amas d'Huîtres, placés sur les côtes de l'Atlantique et que l'on avait regardés comme des bancs naturels, ont été reconnus par M. Vanuxem (2) pour n'être que des accumulations faites par les anciens habitants du pays.

Dans l'île de Ste-Croix, M. J. Hovey (3) a signalé des couches composées de coraux et de coquilles brisées rejetés par les vagues et agglutinés par un ciment calcaire. Toutes les coquilles habitent encore la côte et ont conservé leurs couleurs. Ces couches, qui renferment d'ailleurs des débris de l'industrie humaine, reposent sur les strates redressés du terrain ancien de l'île. On en observe de semblables à la Barbade et à la Guadeloupe. Celles de cette dernière île ont eu une certaine célébrité par les squelettes humains qu'on y a découverts.

Amérique Le long du rivage de Payta règne, d'après M. E. Chevalier (4),

(1) *Geological observations*, etc. Observations géologiques sur les îles volcaniques, in-8. Londres, 1844.

(2) *Amer. Journ.*, vol. XLI, p. 168.

(3) *Ibid.*, vol. XXXV, p. 64. 1838.

(4) *Voyage autour du monde de la corvette* la Bonite. *Minéralogie et géologie*, p. 131. Paris, 1844.

un conglomérat coquillier qui, malgré sa solidité, appartient à l'époque moderne. Il est composé de fragments de phyllades, de grains de quartz et de grandes Huîtres.

du Sud. Colombie.

Foraminifères, polythalames ou rhizopodes : infusoires, etc.

De même que nous l'avons vu pour les sédiments fluviatiles et lacustres, l'influence de la vie sur les dépôts marins ne cesse pas non plus avec les animaux que nous pouvons observer à la vue simple. Sous la lentille du microscope, un nouveau monde organisé nous apparaît; et malgré la ténuité de ces êtres, leur multiplication rapide et presque infinie supplée à leur extrême petitesse, et les accumulations de leurs dépouilles dans les bassins des mers tendent à augmenter aussi les sédiments qui s'y déposent. Dans les eaux douces, avons-nous dit, les infusoires à carapace siliceuse forment des deltas, encombrent le lit des rivières et les ports; ici les foraminifères à test calcaire nous offrent des résultats non moins merveilleux.

« Si nous jugeons, d'après leur grand nombre dans certains pa-» rages, du rôle qu'ils jouent actuellement, dit M. Alc. d'Orbi-» gny (1), à qui cette branche de la science doit de si grands » progrès, il nous sera impossible de douter que leurs restes ne » forment la majeure partie des bancs de sable qui gênent la navi-» gation, obstruent les golfes et les détroits, comblent les ports, et » forment avec les coraux ces îles qui surgissent tous les jours au » sein des régions chaudes du Grand Océan. Pour le prouver, il » nous suffira de citer un fait que nous avons constaté d'après le » produit d'un sondage qui nous a été communiqué par M. Lefèvre à » son retour d'Égypte. Ce sondage, fait au fond des eaux, à 35 pieds » de profondeur dans les vases du port d'Alexandrie, nous a fait re-» connaître que ces vases ne sont presque entièrement formées » que de foraminifères, et que le dépôt successif de leurs dépouilles » menace de combler un jour ce port. »

Des vases de la mer Noire et du Bosphore, recueillies par M. Kock, ont offert à M. Ehrenberg (2) 49 formes organiques différentes, mais point de genres nouveaux. Ce sont 31 polygastriques à test siliceux, 9 *Phytolitharia* et 9 polythalames à test calcaire. Sur ces 49 espèces, 9 étaient nouvelles. Des 31 polygastriques, 12 seulement étaient marins et abondants. Parmi eux, la *Planulina argus*, de la mer de Marmara, se retrouve dans la craie blanche, et il en est

(1) *Mém. sur les foraminifères de la craie* (*Mém. de la Soc. géol. de France*, vol. IV, p. 3. 1840).

(2) *Acad. de Berlin*, 16 nov. 1843.—*L'Institut*, 10 avril 1844.

Digitized by Google

probablement de même de la *Rotalia quaternaria* du Bosphore.

Une foule de polygastriques siliceux ont été reconnus dans les eaux prises par le capitaine Ross sous les glaces du pôle antarctique, comme dans celles des mers tropicales (1).

Les polythalames, au travail desquels la Caroline du Sud doit en grande partie son existence, dit M. Bailey (2), vivent encore de nos jours le long de la côte, remplissent les ports, forment des atterrissements ; et la vase dont se compose le fond du port de Charleston est complétement formée de coquilles polythalames et d'infusoires siliceux.

Les recherches de M. Ehrenberg sur les infusoires et sur les polythalames fossiles trouveront leur place ailleurs, et, quant aux espèces vivantes, les renseignements que nous avons donnés (*antè*, p. 328) pourront compléter ce qui les concerne. La distribution géographique de ces dernières peut avoir quelque intérêt pour la géologie, mais nous en traiterons de préférence dans un article spécial de paléontologie, parce que le savant micrographe prussien a souvent mêlé, dans ses considérations générales, ce qui se rapportait aux infusoires siliceux et aux polythalames, aux espèces fossiles et aux espèces vivantes, aux espèces d'eau douce et à celles des eaux salées ou saumâtres.

APPENDICE.

Habitat ou station des mollusques.

Nous réunirons ici, sous forme d'appendice et comme se rattachant aux dépôts coquilliers modernes, les observations qui ont été faites sur la distribution, dans le sens horizontal et dans le sens vertical ou de la profondeur, des coquilles qui vivent aujourd'hui sous les eaux de la mer, à des distances plus ou moins considérables de la côte.

Déjà M. de La Bèche, comprenant toute l'importance de cette connaissance, relativement aux applications que l'on peut en faire à l'étude des roches sédimentaires, avait inséré dans ses *Recherches sur la partie théorique de la géologie* (3) un tableau fait par M. W.-J. Broderip, et où sont indiquées *les situations et les profondeurs auxquelles on a trouvé les genres vivants des coquilles*

(1) *Acad. des sciences*, 23 déc. 1844. — *L'Institut*, 25 déc. 1844.

(2) *L'Institut*, 2 juillet 1845, p. 244.

(3) Londres, 1834. — Traduction française par M. H. de Collegno. Paris, 1838, p. 281.

Digitized by Google

marines et d'embouchure. Peu après, M. Ed. Gray (1), dans la seconde partie d'une note communiquée à la Société royale de Londres, a déterminé : 1° le genre dont les espèces sont trouvées dans plusieurs *habitats*, tels que sur la terre, dans l'eau douce et dans l'eau salée (*Auricula*) ; 2° lorsqu'une ou plusieurs espèces d'un même genre, dont le plus grand nombre vit dans l'eau douce, se trouvent dans l'eau salée (*Lymnæa*, *Paludina*, *Neritina*, *Melania*, *Melanopsis*, *Cyrena*) ; 3° ou au contraire, lorsqu'une ou plusieurs espèces d'un genre dont le plus grand nombre habite la mer sont trouvées dans l'eau douce (*Aplysia*, *Cerithium*, *Bulla*, *Littorina*, *Solen*, *Tellina*, *Mya*, *Corbula*, *Cucullæa*, *Arca*); 4° enfin, lorsque les mêmes espèces sont trouvées à la fois dans l'eau salée et dans l'eau douce (*Theodoxus*, *Neritina*, *Ampullaria*, *Cardium*).

M. Valenciennes (2), en parlant des coquilles recueillies par M. Lefèvre dans la mer Rouge, entre Suez et Cosséir, a annoncé que 26 de ces espèces se retrouvent dans la Méditerranée, tandis que jusqu'à présent on n'a pas encore cité une seule espèce de poisson qui soit commune aux deux mers.

Les premiers résultats obtenus par M. Edward Forbes (3), à la suite de ses recherches sur les animaux de la mer Égée, ont été consignés dans des lettres datées de Xanthus et de Macri (Asie-Mineure). Ce naturaliste, qui avait fait exécuter des draguages jusqu'à 420 mètres, signale, comme les coquilles les plus caractéristiques des plus grandes profondeurs atteintes, précisément des espèces qui, jusqu'à présent, n'étaient connues qu'à l'état fossile. Plus tard, il a présenté à l'Association britannique pour l'avancement des sciences un *Rapport sur les mollusques et les radiaires de la mer Égée, et sur leur distribution considérée relativement à la géologie* (4). Dans la seconde partie de ce travail, l'auteur a établi

---

(1) *Remarks on the difficulty*, Remarques sur la difficulté de distinguer certains genres de mollusques testacés par leur coquille seule, et sur les anomalies observées dans l'*habitat* de certaines espèces (*Phil. transact. roy. Soc. of London*, 1835, part. II, p. 301). — Voyez aussi l'ouvrage précédent de M. de La Bèche, p. 188-190.

(2) *Bull.*, vol. VIII, p. 148. 1837.

(3) *L'Institut*, n° 463. — *Ann. des sc. géol.*, vol. I, p. 970. 1842.

(4) *Report on the Mollusca*, etc. (*Rep. 13th Meet. brit. Assoc. at Cork*, 1843 (Londres, 1844), p. 130). — *The Athenæum*, 17 sept.,

Digitized by Google

8 régions distinctes, depuis la surface de la mer jusqu'à la profondeur de 420 mètres, et qui présentent chacune une association particulière d'espèces. La plus élevée de ces régions, qui ne descend qu'à 3m,65, est la moins épaisse et la plus riche en espèces animales et végétales ; elle est aussi la plus variée, quant à la nature du fond. La seconde s'étend de 3m,65 à 18 mètres ; la troisième, de 18 à 36 ; la quatrième, de 36 à 64 ; la cinquième, de 64 à 100 ; la sixième, de 100 à 144 ; la septième, de 144 à 192 ; enfin, la huitième, qui dépasse en épaisseur toutes les autres réunies, s'étend de 192 à la plus grande profondeur explorée, que nous avons vu être de 420 mètres.

La faune de cette région inférieure est très distincte de celle des précédentes, et remarquable par son uniformité comme par ses espèces propres. Des 65 que la drague a ramenées, 11 étaient vivantes. Il y avait 22 univalves, dont 3 vivantes ; 30 bivalves, dont 8 vivantes ; 3 palliobranches morts, provenant peut-être des régions supérieures ; 10 ptéropodes et nucléobranches également morts. Les espèces trouvées vivantes aux plus grandes profondeurs sont l'*Arca imbricata* et le *Dentalium quinquangulare*, à 420 mètres. L'*Arca lactea* et le *Cerithium lima* sont les deux seules espèces communes aux huit régions. Ensuite 3 espèces sont communes à sept régions (*Nucula margaritacea*, *Marginella clandestina*, *Dentalium novem costatum*) ; 9 sont communes à six ; 17 sont communes à cinq et 38 sont communes à quatre.

Parmi les coquilles qui ont la plus grande étendue en profondeur, 1/3 sont des formes de l'Océan des côtes de France et d'Angleterre, et parmi celles qui ne se trouvent que dans quatre des régions de la mer Égée seulement, un peu plus de 1/5 se représente dans les mers britanniques. De ce fait nous pouvons évidemment conclure d'une manière générale, dit M. Forbes (p. 171), que l'*étendue de la distribution d'une espèce dans le sens vertical ou dans la profondeur correspond à sa distribution géographique ou horizontale.*

Les espèces très circonscrites, quant à la profondeur, appartiennent soit à des formes propres à la Méditerranée, soit à des êtres

1843. — *Bibl. univ. de Genève*, vol. XLVIII, p. 405. — *Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXXVI, p. 318. 1844. — *Proceed. geol. Soc. of London*, vol. IV, p. 65. 1843 (discours annuel de M. Murchison).

Digitized by Google

très rares dans la mer Égée, mais communs dans les mers situées plus au nord. Au-dessous de la quatrième région, le nombre des espèces diminue rapidement; et dans la partie inférieure de la huitième, il n'y a plus que 8 mollusques; ce qui établirait la limite de la vie animale à peu de distance au-delà de 420 mètres. Les formes méridionales dominent dans les régions supérieures; dans les inférieures ce sont celles du nord. Ainsi les régions en profondeur seraient équivalentes aux degrés de latitude et correspondraient à cette loi de la distribution des êtres à la surface des continents, que les parallèles représentent aussi les altitudes. Quant à l'influence de ces mêmes régions sur la vie et les caractères extérieurs des animaux marins, on remarque que les coquilles ont des couleurs d'autant plus variées qu'elles vivent plus près de la surface.

M. Forbes fait voir ensuite que les déductions tirées par les géologues de l'examen des testacés d'une couche donnée, varieront suivant la profondeur à laquelle les animaux ont vécu, et suivant la nature du sol ou du fond sur lequel ils vivaient; car chaque zone en profondeur offre une proportion différente. Comme, en outre, la nature du fond détermine la famille de mollusques qui l'occupe, et que chaque famille présente aussi une proportion différente en rapport avec les variations de ce même fond, il devra régner une grande incertitude dans les conclusions déduites de ce mode de recherches, et l'on ne pourra y obvier qu'en observant attentivement le caractère minéral de la couche, pour connaître la nature de l'ancien fond, et en tenant compte de l'association des espèces, ainsi que de l'abondance relative des individus dans chacune d'elles. On pourra assigner alors la profondeur et calculer séparement, pour chaque famille, la proportion des formes du nord ou du sud.

Des causes nombreuses tendent d'ailleurs à mêler les débris des animaux des diverses zones. Chaque espèce a trois *maxima* de développement, en *profondeur*, en *étendue superficielle* et *dans le temps.* En profondeur, une espèce est d'abord représentée par un petit nombre d'individus. Ce nombre augmente graduellement jusqu'à un certain *maximum;* puis il diminue et l'espèce finit par disparaître. Il en est de même de la distribution géographique ou en surface, et de la distribution géologique ou dans le temps. Quelquefois les genres auxquels ces espèces appartiennent cessent de se montrer aussi; mais plus ordinairement une espèce du même genre succède à une autre. Les genres, comme les espèces, ont un maximum de développement en profondeur, et ils sont également

Digitized by Google

remplacés ou représentés par des genres correspondants ; loi qui est d'ailleurs commune aux animaux et aux végétaux. Les genres ne sont pas distribués irrégulièrement dans les diverses zones, mais, dans quelques unes d'entre elles, les espèces se trouvent en plus grand nombre, et leur proportion diminue ensuite, soit que l'on s'élève au-dessus, soit que l'on s'abaisse au-dessous de cette zone.

M. Forbes a recueilli vivantes quelques coquilles qui n'étaient encore connues qu'à l'état fossile. Toutes étaient des formes tertiaires, et les espèces toujours parmi les plus rares à l'état fossile, mais très communes aujourd'hui, ou bien au contraire très abondantes à l'état fossile et très rares de nos jours.

Pour appliquer ces divers résultats à la petite île de Neo-Kaïmeni, qui apparut en 1707 dans le golfe de Santorin (p. 178), l'auteur a examiné les fossiles renfermés dans une couche de pumite qui aurait formé le fond de la mer avant le soulèvement, et ces fossiles l'ont conduit à admettre d'abord qu'il n'y avait que deux régions en profondeur, la 4[e] et la 5[e], où l'on pût trouver une pareille association ; puis il est arrivé à constater qu'en effet ce fond appartenait à la 4[e] région, c'est-à-dire qu'il se trouvait entre 36 et 64 mètres au-dessous de la surface de l'eau, et la quantité du soulèvement a été par cela même déterminée.

Aujourd'hui le fond de la mer Égée pourrait, à partir du zéro de la vie animale, présenter une masse de dépôts homogènes assez semblables à la craie et dépourvus de débris organiques sur une épaisseur de 1,000 mètres et davantage. La zone la plus inférieure, qui a 228 mètres de hauteur, a partout pour fond un banc jaunâtre, occupé dans toute son étendue par les mêmes animaux et constituant une roche dont les caractères sont ceux de la craie ; elle renferme aussi des espèces particulières et une très grande quantité de foraminifères.

Plus tard, M. Ed. Forbes (1) a reconnu encore que les coquilles de formes arctiques vivaient actuellement aux plus grandes profondeurs dans les mers d'Écosse, et qu'elles étaient parfaitement distinctes de celles qui vivent dans les mers britanniques du nord, mais à de moindres profondeurs.

En examinant le fond de la mer, sur les côtes de la Norwége, M. Löven (2) est à peu près arrivé aux mêmes conclusions que

---

(1) *The Athenæum*, 1846, n° 958.
(2) *On the bathymetrical distribution*, etc. Sur la distribution,

Digitized by Google

M. Ed. Forbes pour la mer Égée. La région littorale proprement dite et celle des *laminariées* sont partout bien limitées, et leurs espèces caractéristiques ne s'étendent guère au-delà. Il en est de même pour la région des algues, qui se développe davantage vers la pleine mer. Mais de 27 à 182 mètres, les régions sont différentes; on y trouve à la fois le plus grand nombre d'espèces et la plus grande variété dans leur association locale. Leur réunion paraît y être déterminée, non seulement par la profondeur, les courants, etc., mais encore par la nature du fond, qui est un mélange de boue, d'argile et de cailloux. Dans cette région, les espèces semblent avoir une plus grande extension verticale que celles du littoral et de la région des laminariées; peut-être même s'étendraient-elles jusqu'à la zone profonde des coraux.

Au sud, cette dernière est caractérisée par l'*Oculina ramea* et une Térébratule; au nord, par l'*Astrophyton*, les Cidarites, le *Spatangus purpureus*, des Gorgones, et le gigantesque *Alcyonum arboreum*, espèces qui se prolongent aussi bas que la ligne des pêcheurs peut atteindre. La limite de la vie animale dans ces mers n'a d'ailleurs pas été déterminée. Quant à celle de la vie végétale, elle paraît se trouver beaucoup au-dessus des régions les plus profondes connues de la vie animale. Les mollusques zoophages sont aussi prédominants dans les régions inférieures, tandis que les phytophages sont plus particuliers à celles qui avoisinent la surface. Enfin, l'observation de M. Forbes, que les espèces des mers d'Angleterre ne se trouvent dans la Méditerranée qu'à des profondeurs plus grandes, est aussi confirmée pour les côtes de la Norwège. C'est ainsi que des espèces trouvées à 146 mètres, entre Gothenbourg et Norway, se rencontrent au nord, dans le Finmark, à 36 mètres seulement, et quelques unes même deviennent littorales.

Le champ encore restreint des observations de MM. Ed. Forbes et Löven, et certaines discordances dans quelques uns de leurs résultats, ne permettent sans doute pas de regarder comme des lois celles de leurs conclusions qui se confirment réciproquement; mais on ne peut méconnaître, dès à présent, l'utilité d'un pareil

---

dans la profondeur, de la vie sous-marine, sur les côtes nord de la Scandinavie (*Rep.* 14th *Meet. brit. Assoc. at York* 1844 (Londres, 1845), p. 50 des Notices. — *L'Institut*, 25 juin 1845. — *Bibl. univ. de Genève*, vol. LV, p. 188. 1845).

mode de recherches appliqué à l'étude des terrains, et en outre la nécessité de mettre la plus grande réserve dans la généralisation de certaines données fournies par la paléontologie. Ainsi les naturalistes qui voudraient voir des couches d'âges différents partout où ils trouvent des fossiles différents, seraient exposés à commettre de graves erreurs; car la même couche prise sur deux points éloignés, dont les niveaux naturels différaient entre eux de 100 mètres, par exemple, pourra présenter des associations d'espèces très distinctes, et l'on en conclurait à tort que ces deux parties d'une même couche ne sont point contemporaines.

Relativement à la plus générale des conclusions émises par MM. Forbes et Löven, savoir : *que plus une espèce parcourt de régions verticales*, ou, en d'autres termes, *plus elle vit à des profondeurs différentes sur le même littoral*, *plus aussi elle se propage sur de plus grandes étendues en surface*, nous devons mentionner ici ce que nous avons fait remarquer nous-même à la Société géologique lorsque ces déductions nous ont été connues (1), c'est-à-dire qu'elles n'étaient qu'une conséquence naturelle et nécessaire de l'une des propositions avancées par M. Ed. de Verneuil et nous, en 1842, dans notre coup d'œil général sur la faune du terrain de transition. « Si l'on considère, au contraire, disions-» nous alors, le développement de l'organisme dans le sens hori-» zontal, géographiquement ou dans l'espace, on reconnaît que *les* » *espèces qui se trouvent à la fois sur un grand nombre de points* » *et dans des pays très éloignés les uns des autres*, *sont presque* » *toujours celles qui ont vécu pendant la formation de plusieurs* » *systèmes successifs* (2). »

M. Forbes considère les animaux marins vivant dans le même moment, sous des profondeurs d'eau et dans des circonstances physiques assez différentes, tandis que nous, nous les considérions dans plusieurs périodes successives; mais il est facile de voir que l'une de ces propositions entraîne l'autre : car si, comme nous l'avons dit, les coquilles qui ont pu vivre pendant plusieurs périodes,

(1) D'Archiac, *Bull.*, 2e sér., vol. II, p. 482. 1845.

(2) D'Archiac et de Verneuil, *Idem*, vol. XIII, p. 260, 4 avril 1842. — Voyez aussi : *On the fossils of the older deposits*, etc. (*Transac. geol. Soc. of London*, vol. VI, p. 335. 1842). — C'est par erreur que M. J.-P. Nichol a attribué cette proposition à MM. Sedgwick et Murchison (voyez ses *Notes on some general principles*, etc., in-f°, p. 5, *nota*. 1847).

à cause de leur organisation plus robuste, devaient être celles qui, toutes choses égales d'ailleurs, avaient pu exister aussi sur des points du globe très éloignés les uns des autres, il s'ensuit que, dans le même temps, ce sont également celles qui vivent sous les circonstances les plus variées soit en profondeur, soit en étendue géographique. Notre proposition a été confirmée en outre par M. Forbes lui-même dans son examen des fossiles crétacés de l'Inde (1); et de l'autre côté de l'Atlantique, M. H. D. Rogers, dans son discours annuel à la réunion des géologues américains, le 4 mai 1844, disait, après avoir jeté un coup d'œil rapide sur l'ensemble de la faune fossile des États-Unis : « Ainsi se trouve démon» trée une loi générale et importante, loi concernant la distribu» tion des fossiles, c'est-à-dire que *les espèces dont la distribution » géographique est la plus étendue possèdent aussi la plus grande » extension verticale* (2). »

On voit, d'après ce qui précède, que le mode de distribution des espèces de mollusques marins dans le sens vertical et dans le sens horizontal avait été reconnu en quelque sorte pour la faune la plus ancienne du globe avant de l'être pour celle qui vit actuellement sous nos yeux (3).

M. Alcide d'Orbigny, dont les observations sur l'*habitat* des

(1) *Quart. Journ. geol. Soc. of London*, n° 1, fév. 1845.

(2) *Amer. Journ.*, vol. XLVI, p. 253. 1844.

(3) Nous reproduirons ici l'énoncé des principes qu'a émis M. Forbes, dans un résumé écrit par lui-même. Il en résultera quelques doubles emplois avec ce que nous venons de dire; mais les vues de l'auteur, jointes à celles de ses devanciers, s'y présentant d'une manière plus complète, ce motif justifiera les répétitions dont nous venons de parler.

1° Les êtres vivants ne sont pas distribués au hasard dans le lit de la mer: certaines espèces vivent dans certaines parties, suivant la profondeur, de sorte que le lit de la mer présente une série de zones ou de régions dont chacune a ses habitants particuliers.

2° Le nombre des espèces est beaucoup moindre dans les zones inférieures que dans les supérieures. Les végétaux disparaissent audessous d'une certaine profondeur, et la diminution constante dans le nombre des espèces animales indique que le zéro de celles-ci en est peu éloigné.

3° Le nombre des espèces animales et végétales du nord n'est pas le même dans toutes les zones de profondeurs; il augmente en espèces identiques ou en espèces représentatives à mesure que nous descendons. La loi serait que les parallèles en *profondeur* sont équivalents aux parallèles en latitude, correspondant à cette loi de la surface,

Digitized by Google

coquilles vivantes se sont étendues sur une si grande partie des côtes de l'Amérique méridionale, a donné d'abord des *Considérations paléontologiques et géographiques sur la distribution des Céphalopodes acétabulifères* (1), où il fait voir que 6 genres habitent à la fois les régions chaudes, tempérées et froides, quoique beaucoup plus nombreux dans les régions chaudes; 3 genres qui habitent les zones chaudes ou tempérées sont aussi plus abondants en espèces sous la zone torride; 6 sont propres aux zones tropicales; 1 seul est propre aux régions tempérées; aucun n'appartient exclusivement aux zones froides. Ainsi, sur 16 genres que renferme la famille, 15 ont des représentants dans les régions chaudes, 10 ou les 2/3 dans les régions tempérées, et 6 ou moins de la moitié dans les régions froides.

Le savant voyageur établit en outre qu'il y a plus des 2/3 des espèces de chaque mer qui leur sont propres, ce qui prouve des limites d'habitation fixes ou assez restreintes pour des animaux que leur puissance de locomotion et leurs mœurs pélagiennes sembleraient devoir répartir à la fois dans toutes les mers.

Les espèces de ces céphalopodes acétabulifères sont distribuées

---

que les parallèles en *hauteur* sont équivalents aux parallèles en latitude.

4° Toutes les sortes de fond de mer ne sont pas également susceptibles de nourrir les animaux et les végétaux.

5° Les bancs d'animaux marins ne s'étendent pas indéfiniment en espace. Chaque espèce est destinée à vivre seulement sur un fond de mer déterminé; elle peut s'éteindre si le nombre croissant des individus modifie la nature du fond.

6° Les animaux qui s'étendent sur une profondeur très considérable occupent ordinairement une grande étendue, soit géographique, soit géologique, ou même l'une et l'autre à la fois. M. Forbes, après avoir rappelé ici le résultat de nos propres études, que nous avons indiqué ci-dessus, ajoute : « Il est très intéressant d'arriver ainsi à une vérité » générale, apparaissant pour ainsi dire sous la même forme, par des » recherches indépendantes, faites en quelque sorte aux deux extré- » mités des temps. »

7° Les mollusques émigrent à l'état de larve; mais ils périssent à une certaine période de leur vie s'ils ne rencontrent pas les conditions favorables à leur développement, c'est-à-dire s'ils n'atteignent pas la zone spéciale de profondeur dans laquelle ils sont destinés à vivre à l'état parfait. (*Edinb. new phil. Journ.*, avril 1845. — *Ann. des sc. nat.*, 3e sér., vol. IV, p. 117. 1845. — Voyez aussi un mém. de géo-zoologie du même auteur, *Ann. des sc. nat.*, 1840.)

(1) *Bull.*, vol. XII, p. 352. 1841.

Digitized by Google

dans les diverses zones comme il suit : dans la zone chaude, 78 espèces ; dans les zones tempérées, 35 ; dans les zones froides, 7. Mais si les genres et les espèces sont plus nombreux et plus variés sous la zone torride, il ne paraît pas en être toujours de même des individus qui y sont au contraire peu multipliés ; tandis que dans les mers polaires arctiques l'*Ommastrephe sagittatus*, et dans l'Océan austral l'*Ommastrephe giganteus* sont tellement nombreux, qu'à l'époque de leur migration annuelle, les uns viennent couvrir les côtes de Terre-Neuve et les autres celles du Chili.

Dans ses *Recherches sur les lois qui président à la distribution des mollusques côtiers marins* (1), M. Alc. d'Orbigny s'est occupé de l'influence des courants, de la configuration des côtes et de la température qui déterminent la station de ces animaux. Parmi les conclusions auxquelles il est arrivé, on doit remarquer celle-ci : que les plus grands cours d'eau n'ont aucune influence sur la composition des faunes marines voisines. Ainsi, dit-il, toutes les déductions que l'on a cru tirer de cette prétendue action, pour expliquer beaucoup de faits observés dans les bassins tertiaires, sont complétement illusoires.

Sur 362 espèces, une seule, la *Siphonaria Lessoni*, est commune à l'Atlantique et au Grand Océan ; 156 appartiennent à la première de ces mers et 205 à la seconde. Dans l'Océan Atlantique, la faune des régions tempérées est plus nombreuse que celle des régions chaudes, et chacune de ces régions possède 4 à 6 fois plus d'espèces propres que d'espèces communes. Les côtes du Grand Océan donnent des résultats analogues. Mais si l'on compare les genres des côtes opposées, on trouve dans leur répartition des différences remarquables. Ainsi, dans l'Océan Atlantique, le rapport des gastéropodes aux lamellibranches est : : 85 : 71 ; dans le Grand Océan, : : 129 : 76. Sur 95 genres propres au littoral de l'Amérique du Sud, 50 ou plus de la moitié ne se trouvent que d'un côté, et 45 seulement sont communs aux deux mers.

M. d'Orbigny démontre que les conditions de cette répartition sont déterminées par la disposition orographique des côtes. « Sur » le littoral du Grand Océan, dit-il (p. 213), les Cordillères étant » très près de la mer, les pentes y sont plus abruptes et fort incli- » nées, et les rochers bien plus nombreux que les plages sablon-

(1) *Comp. rend.*, vol. XIX, 4 nov. 1844. — *Ann. des sc. nat.*, 3ᵉ sér., vol. III, p. 193. 1845.

Digitized by Google

« neuses ; il doit y avoir dès lors infiniment plus de gastéropodes » que de lamellibranches, et les genres qui dominent par leurs es» pèces doivent principalement vivre sur les rochers. »

C'est l'inverse pour la côte de l'Océan Atlantique, où les plages en pentes douces se prolongent au loin sous les eaux et où les mollusques côtiers doivent vivre principalement sur les parties sablonneuses et dans les golfes tranquilles. Les différences organiques produites ainsi par la disposition des deux côtes sont plus prononcées que les rapports donnés par l'influence des séries parallèles de zones de latitude que traversent également les faunes locales des deux Océans. Enfin les courants généraux tendent d'une part à répandre les mollusques côtiers en dehors de leur limite naturelle de latitude, et de l'autre à isoler au contraire les faunes locales.

Nous ferons remarquer, en terminant l'exposé de ces recherches sur la répartition de la vie sous-marine, que M. Ed. Forbes admet l'influence de la nature du fond de la mer et celle des affluents d'eau douce sur la distribution des espèces, que M. Alc. d'Orbigny rejette cette dernière influence, et que M. Philippi nie la première (1) ; ainsi, malgré des travaux dont on ne peut contester le mérite, il reste encore beaucoup à faire dans cette partie de la zoologie géographique (2).

---

(1) *Comparative remarks*, etc. Remarques comparatives sur les mollusques récents et fossiles du sud de l'Italie (*Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXXVIII, p. 203. 1845).

(2) Voyez aussi : *Rapport sur un draguage exécuté en* 1844 *sur les côtes de l'île d'Anglesea, par MM. Andrew et Ed. Forbes* (*Report* 14th *Meet. brit. Assoc. at York* 1844. Londres, 1845. — *Bibl. univ. de Genève*, vol. LVI, p. 94. 1845).

Digitized by Google

QUATRIÈME PARTIE.

PHÉNOMÈNES DONT L'ORIGINE EST AU-DESSOUS DE LA SURFACE DU SOL.

CHAPITRE PREMIER.

PRODUITS GAZEUX, BITUMINEUX ET BOUEUX.

Gaz inflammable, lagoni, naphte, pétrole, salses, etc.

Malgré la diversité des produits que nous indiquons sous le titre de ce chapitre, l'étroite liaison qui paraît exister entre eux, et leur communauté probable d'origine, ne nous permettent pas de les décrire séparément : aussi les mentionnerons-nous simultanément, en suivant un ordre géographique ; puis nous terminerons en exposant les idées générales auxquelles leur étude a donné lieu.

M. G. Bianconi (1), à la suite d'un voyage dans l'Apennin du Modénais, a signalé la composition des monts Cuccoli, della Croce, Renno et Barigazzo; puis il a décrit les flammes qui s'échappent de cette dernière montagne, dont la base est composée de marnes argileuses stratifiées, la partie moyenne de macigno solide, et la partie supérieure de macigno et de marnes friables. Italie.

Dans sa relation de la dernière éruption du volcan aérien ou salse de Sassuolo dans le Modénais, M. G. de Brignoli di Brunnhoff (2) a présenté d'abord l'historique de ce genre de phénomène, puis il a donné des détails sur l'éruption boueuse du 4 juin 1835

---

(1) *Analisi della descrizione*, etc. Analyse de la description d'un voyage fait dans l'Apennin modénais (*Rendiconto della sess. ord. dell' Accad. di Bologna*, vol. I, p. 233, 18 fév. 1836).

(2) *Relazione accademica*, etc. Relation académique de l'éruption arrivée au volcan aérien ou salse de Sassuolo, etc. Reggio, 1836.

Digitized by Google

à Sassuolo, sur le versant nord-ouest du mont Zibio. Cette colline tertiaire est formée de bancs de sable épais, jaunâtres, calcaréo-siliceux avec fossiles, auxquels succèdent plus bas un calcaire marneux, fossilifère, et enfin les marnes bleues subapennines, renfermant de nombreux corps organisés. L'auteur soupçonne que l'azote peut exister dans le gaz qui se dégage des salses, et il attribue l'origine du phénomène aux substances végétales et animales qui développent dans les marais le gaz hydrogène, et qui, concourant à la formation de la houille, du bitume et du succin, peuvent, comme l'avait déjà pensé Volta, alimenter une grande partie des salses.

M. de Brignoli n'admet point les idées de M. Daubeny, qui fait venir de la mer les eaux des salses; car Sassuolo, par exemple, se trouve à 50 milles en ligne droite de Massa, sur le bord de la Méditerranée, et à 70 milles de l'Adriatique. Il croit d'ailleurs (p. 61) qu'il peut exister un banc de sel gemme qui alimenterait en même temps les nombreuses sources salées des pays environnants, opinion déjà émise, en effet, par l'abbé Molina pour le Bolonais, et par Cortesi pour les puits salés du Parmesan. Dolomieu avait fait remarquer aussi le grand nombre de fontaines salées à Macaluba (Sicile), où les mines de sel ne sont pas moins abondantes que les salses. L'auteur termine en indiquant que les eaux qui passeraient sur des dépôts de ce genre pourraient agir sur les bases métalliques et laisser dégager l'hydrogène; mais, d'une part, nous ne voyons pas bien quelles seraient, dans les couches de cette nature, les bases métalliques qui se trouveraient à un état susceptible de décomposer l'eau d'une manière aussi constante, et de l'autre, comment l'hydrogène mis en liberté arriverait à l'état d'hydrogène carboné ou percarboné.

D'après M. P. Savi (1), les *lagoni*, ou salses du Volterrais et du Siennois, donnent lieu à des produits analogues aux gypses et au soufre anciens de la Toscane, qui sont d'origine ignée. Les dépôts salifères et gypseux doivent être regardés, non seulement comme une modification locale de cette partie du sol où on les trouve, mais encore comme la réunion de substances qui lui sont originairement étrangères, et qui ont été apportées lors des éruptions ignées, dont l'action a été momentanée. Ces amas gypseux, sulfureux, etc., n'ont pas une position géologique déterminée; ils sont plus ou moins considérables, subordonnés à certaines roches, ou bien leur sont

(1) *Nuovo giornale dei litterati*, n° 62.

Digitized by Google

superposés. Il serait donc inutile de les rechercher exclusivement dans telle ou telle série déterminée de couches. Suivant l'auteur, la présence du sel gemme serait due à l'évaporation de l'eau de la mer, dont les roches qui en formaient le fond étaient imbibées, à l'époque où les salses et les soufflards (*soffioni*) se sont manifestés.

M. A. Burat (1), dont l'opinion s'accorde assez avec celle de M. Savi, regarde les lagoni de la Toscane comme les arrière-phénomènes de ceux qui ont agi à l'époque tertiaire (2), mais avec bien plus d'énergie alors, et qui auraient produit le sel et le gypse en modifiant les dépôts, au moment même de leur formation, par l'introduction de nouvelles substances. Les lagoni, dit-il, sont des éruptions de vapeurs aqueuses, à une température de 105 à 120°, s'échappant avec force des fissures du sol, et s'élevant en colonnes blanches de 10 à 20 mètres de hauteur. Ces vapeurs exhalent une forte odeur d'hydrogène sulfuré, altèrent les roches, les désagrégent et les pénètrent de gypse cristallin, de soufre et d'acide borique.

Ces lagoni ou soufflards, disposés par groupes de 10, 20 ou de 30 à monte Cerboli, Castel-Nuovo, monte Rotundo, et suivant une ligne à peu près droite, paraissent dus à une fracture de 30 à 40 kilomètres de longueur. Si l'on suppose, continue M. Burat, que cette action des lagoni se manifeste dans des golfes ou dans des lacs salés, on pourra concevoir ces alternances et ces pénétrations de gypse et de sel gemme dans les dépôts vaseux de cette époque. Des couches gypseuses représenteront les périodes d'activité des vapeurs et de perturbation des eaux, les couches salifères les périodes tranquilles de refroidissement et de dépôts de matières dissoutes. La présence du borate de magnésie et celle des dolomies stratifiées dans les dépôts salifères, de même que celle du peroxyde rouge de fer, résulteraient encore de ce genre de génération mixte, dont les produits participent à la fois, par leur nature minéralogique, d'actions aqueuses et d'actions métamorphiques (3).

Dans son excellent travail intitulé : *Histoire naturelle des terrains*

---

(1) *Géologie appliquée*, p. 79.

(2) Opinion qu'a reproduite M. Coquand dans sa description géologique des solfatares, des alunières et des lagoni de la Toscane (*Comp. rend.*, vol. XXIII, p. 1081. 1846).

(3) Voyez aussi : *Notice sur la production de l'acide borique en Toscane*, par M. de Larderel (*Comp. rend.* vol. XXIII, p. 345. 1846).

Digitized by Google

ardents (1), M. G. Bianconi a présenté d'abord un tableau succinct de ces phénomènes en Sicile et en Italie. Ainsi il a rappelé les volcans boueux de Macabula, situés à 5 milles au nord de Girgenti, de la montagne de Paterno, du lac Naftia, ceux de Santa-Maria di Niscimi, de Terrapilata, etc. L'espace qui comprend ces diverses émanations diffère géologiquement du reste de l'île par l'abondance des mines de soufre, de sel et de gypse, les sources salées et bitumineuses, les schistes bitumineux, etc.

On trouve aussi, dans le duché de Ferrare et dans l'Apennin du Modénais, divers produits du même genre, que M. Bianconi décrit avec beaucoup de détails. A Pietra-Mala, sur le sommet de l'Apennin, entre Bologne et Florence, les *terrains ardents* sont, comme on sait, très répandus, ainsi que les dégagements d'hydrogène. Sur la limite de la province d'Imola et du Bolonais, il y a des sources salées, et d'autres sont hépathiques. Dans le haut Apennin, aux bains de la Porretta, il y a de nombreuses sources gazeuses, inflammables, thermales et salées, et même des courants de gaz hydrogène utilisés pour l'éclairage des bains. Dans le Bolonais, on remarque des sources de pétrole, et en passant dans le Modénais on trouve huit fontaines ardentes, déjà signalées par Spallanzani. Neuf salses y ont été mentionnées par M. de Brignoli, et des sources de pétrole s'observent encore aux environs. Les puits de pétrole de Miano, dans le duché de Parme, ne sont pas moins célèbres que les bains bituminifères de Lesignano, les sources salées, gazeuses et les salses de la Torre et de Rivalta, et les feux de Velleia. Le versant méridional de l'Apennin offre encore des produits semblables. Ainsi il y a une source inflammable à Bagno, en Toscane, et plusieurs autres existent dans l'étendue de ce duché et dans celui de Lucques, à la Grafagnana, etc. Enfin, dans le Volterrais, sont les *lagoni* de monte Cerboli, de monte Rotundo, etc., dont nous avons déjà parlé.

Un certain nombre d'observations et d'expériences ont été faites par M. Ghirlanda (2) sur un courant de gaz inflammable qui se dégage d'un puits artésien foré à Giarino, village du Trévisan,

(1) *Storia naturale*, etc. Histoire naturelle des terrains ardents, des volcans boueux, des sources inflammables et des autres phénomènes géologiques auxquels donnent lieu les dégagements de gaz hydrogène; in-8°. Bologne, 1840.

(2) *Bibliot. italiana*, n°s 217, 218, p. 188. 1834.

Digitized by Google

dans le district de Conegliano. Le puits avait atteint une profondeur de 110 pieds. De son côté, M. Bowring a traité de l'acide boracique des lagoni de Toscane (1).

Dans une *Note sur les sources et les mines d'asphalte ou bitume minéral de la Grèce et de quelques autres contrées* (2), M. T. Virlet a signalé des traces de bitume dans des calcaires foncés, entre Navarin et Nisi, puis il a décrit les sources de naphte de l'île de Zante, connues depuis longtemps, car elles ont été mentionnées par Hérodote. Il a rappelé également l'existence des mines de poix minérale du Condessi, dans l'Albanie, exploitées au temps de Pline, et situées au pied nord des monts Akro-Cérauniens, les mines de pétrole de l'île de Koraka, le bitume des calcaires compactes de Vergoraz en Dalmatie, et celui de l'île de Bua. Grèce.

M. de Gourieff (3) a décrit, près de Kertsch, des collines de 170 mètres de hauteur, composées d'alluvions, d'argile jaunâtre, alternant avec l'argile feuilletée grisâtre. Celle-ci est recouverte par place de calcaire marin coquillier, semblable à celui qui forme presque exclusivement les côtes de la mer Noire et de la mer d'Azof. Dans un des ravins qui sillonnent ces collines, sont des volcans boueux qui, pendant l'automne et l'hiver, laissent dégager de l'hydrogène carboné et de l'acide carbonique. La boue est composée d'argile grise, feuilletée, délayée dans l'eau avec des galets et des fragments de fer oligiste brun. Les éruptions forment de petits mamelons de 4 mètres de hauteur, et dont le cratère est très profond. Ceux-ci sont remplis d'eau qui déborde. A peu de distance, se trouve une source qui apporte du naphte que l'on exploite, quoiqu'il soit peu abondant. Crimée.

On doit à M. Ed. de Verneuil (4) la description, dans la presqu'île de Taman et la partie orientale de la Crimée, d'un ensemble de volcans boueux qui occupe une bande d'environ 20 lieues de long, et dirigée E.-O. Le sol de ce pays, déjà connu par les travaux de Pallas, est couvert de collines ou de cônes plus ou moins réguliers, qui atteignent jusqu'à 80 mètres de hauteur, et qui sont le résultat d'éruptions boueuses. Celles-ci sont ac-

(1) *Edinb. new philos. Magaz.*, vol. XXVIII, p. 85. 1840.
(2) *Bull.*, vol. IV, p. 203. 1834.
(3) *Annuaire du Journ. des mines de Russie*, vol. III, p. 343. 1836.
(4) *Mémoire géologique sur la Crimée.* (*Mém. de la Soc. géol. de France*, vol. III, p. 1. 1838. — *Bull. id.*, vol. VII, p. 3?6. 1836. — *Id.*, vol. VIII, p. 188. 1837.)

Digitized by Google

compagnées de bruits souterrains, de jets de matières visqueuses qui s'élancent jusqu'à une assez grande élévation, de tremblements de terre, de dégagements de gaz enflammé, de fumée, et de sources abondantes de bitume. Ces éruptions, dont la position, à l'extrémité occidentale du Caucase, correspond parfaitement aux salses de Bakou, situées à son extrémité orientale sur le bord de la mer Caspienne, paraissent se rattacher, comme le remarque M. de Verneuil, aux agents ignés, qui ont joué un si grand rôle dans la production et le soulèvement de l'axe trachytique de cette chaîne.

Près de Temrouk, d'après M. Dubois de Montpéreux (1), les volcans boueux sont aussi en activité. Le 5 septembre 1799, il apparut dans la mer d'Azof, non loin de Pérésippe, une île de 1,442 mètres de longueur sur 96 de largeur, et élevée de 2^{m},35 au-dessus de l'eau. Le même jour un violent tremblement de terre s'était fait sentir. L'île disparut dans le courant de l'année suivante, et une seconde, qui surgit le 10 mai 1814, s'est également engloutie. Il en est de même dans la mer Caspienne, autour de la presqu'île volcanique d'Abshéron ou de Bakou. En parlant des éruptions boueuses de Koukonoba, M. Dubois remarque qu'en général la boue est le résultat de la décomposition de l'argile feuilletée et de la marne blanche. Ces déjections, comme celles de naphte, n'ont lieu que dans ces couches, et il n'en existe pas sur les points où le calcaire coquillier constitue le sol.

Les eaux de Taman et celles du cratère de Fontan proviennent de ce que l'auteur appelle un *cratère artésien*. Ce dernier, situé à 400 pas de la côte, est élevé de 10 mètres au-dessus de la mer. Il présente un fond plat, sablonneux, et ressemble à un petit lac d'eau douce qui ne tarit jamais. Ces cratères de Fontan et de Taman seraient des volcans qui versent de l'eau pure au lieu de vase épaisse, sulfureuse et bitumineuse.

Sur la presqu'île de Kertche (2), les sources et les volcans ont aussi leur siége principal dans la formation d'argile feuilletée et de marne blanche. A l'O. la série commence par une source sulfureuse, à la surface de laquelle surnage le soufre, puis viennent d'autres sources qui sortent au milieu de boues noires, bitumineuses,

---

(1) *Voyage autour du Caucase, chez les Tcherkesses et les Abkases, en Colchide, en Arménie et en Crimée*, 6 vol. in-8°, atlas in-f°. Paris, 1840—43. Vol. V, p. 26.

(2) *Ibid.*, vol. IV, p. 237.

ou qui donnent des eaux limpides ; des sources de naphte succèdent à celles-ci, et enfin viennent les volcans boueux proprement dits. J.-J. Huot a également décrit la plupart de ces phénomènes dans son *Voyage géologique en Crimée et dans l'île de Taman* (1).

Une éruption a été signalée au commencement de 1845, près de Schemaka sur la mer Noire ; mais quelques unes des circonstances qui accompagnèrent, dit-on, le phénomène, paraissent peu en rapport avec la nature même de ce genre d'éruption (2).

Côte occidentale de la mer Caspienne

Depuis la description des pseudo-volcans ou volcans boueux de Bakou, par M. Lenz (3), cette localité intéressante n'a pas cessé d'être visitée par les voyageurs. D'après M. Hess, ces feux résulteraient de la combustion du carbone tétrahydrique mélangé d'un peu de vapeur de naphte (4). M. Monnot Arbilleur (5) a décrit la presqu'île d'Abshéron comme formant la plus grande partie de la province de Bakou, dont le naphte est la principale richesse. On distingue le naphte noir et le naphte blanc. Le naphte noir, ou *résine de terre*, se divise lui-même en naphte vert liquide et en naphte noir épais. On les extrait sur divers points, par des puits dont la profondeur varie de 3 à 30 mètres. La coupe de ces puits présente du haut en bas : 1° calcaire coquillier ; 2° schiste bitumineux ; 3° sable pur ; 4° second schiste bitumineux ; 5° argile blanche sur laquelle coule le naphte. Le produit annuel de tous les puits réunis est de 3,732,160 kilogrammes de naphte noir et 14,143 kilogrammes de naphte blanc.

Dans la presqu'île d'Abshéron, entre les grands et les petits feux de Bakou, le sol s'est ouvert à des époques récentes pour vomir des flammes qui ont été aperçues à une distance de plus de 10 lieues. Les éruptions de Jokmali, du Vieux-Chamache, de Massasy et de Baklichli, en 1827, 28, 30 et 39, furent accompagnées d'un grand bruit

(1) *Voyage dans la Russie méridionale sous la direction de M. de Demidoff*, vol. II, p. 243. Paris, 1842. — Voyez aussi Goebel, *Des exhalaisons gazeuses des salses de Taman* (*Reise in die steppen der sudlich Russland*, vol. II, p 138).

(2) *L'Institut*, 26 mars 1845.

(3) *Mém. de l'Acad. de Saint-Pétersbourg*, 1830. — *Bibl. univ. de Genève*, vol. LVIII, p. 24.

(4) *Bull. de l'Acad. de Saint-Pétersbourg*, vol. I, p. 166. 1836.

(5) *Sources de naphte de la province de Bakou.* (*L'Écho*, 1er oct. 1843.)

Digitized by Google

souterrain suivi de soulèvements du sol et d'éruptions boueuses (1).

Côte orientale de la mer Caspienne.

Nous trouvons, sur la côte opposée de la Caspienne, des sources de naphte plus nombreuses encore et sur lesquelles M. Felkner a donné les détails les plus précis (2). L'île de Naphte ou de Tchéléken est, dit-il, une des plus importantes, par ses dimensions et par ses produits. Les tremblements de terre ou les tempêtes changent assez souvent la forme de son rivage. Le sol en est sablonneux, et les collines qui renferment le naphte sont composées de calcaire, de grès, d'argile et de conglomérat coquillier. Le calcaire qui forme la base de l'île est gris-jaune, à cassure inégale, moyennement dur, celluleux, rempli de naphte et de cristaux de chaux carbonatée ; il renferme aussi du gypse et de l'argile. Le grès occupe les versants des coteaux et quelquefois le sommet. Il est à grain plus ou moins gros, ou fin, gypseux et micacé. Des fissures dans diverses directions sont remplies de scories de fer oxydé avec des grains et des cristaux de gypse disséminés. Les parois de ces fentes portent les traces de l'action des feux souterrains. Partout l'argile est pénétrée de sel gemme qui, en se desséchant, la recouvre d'une croûte blanchâtre. Le conglomérat se voit sur la côte occidentale en blocs épars, polis par les brisants.

Le plateau qui contient les sources de naphte s'étend de l'O. à l'E. sur une longueur de 10 kilomètres 1/2 et sur une largeur qui varie de 600 à 1250 mètres. On compte environ 3,500 puits en exploitation dans cet espace. Le naphte est noir ou blanc comme aux environs de Bakou. Le noir est liquide ou visqueux, suivant qu'il contient plus ou moins de parties terreuses. Le blanc est exploité en petite quantité sur quelques points du territoire de Taseken. On extrait en outre le naphte des sources qui arrivent à la surface

---

(1) De Humboldt, *Asie centrale*, vol. II, p. 58—505. Voyez aussi : *Ann. de Poggendorff*, vol. XXVI, p. 386. — *Éruption nouvelle à Bakou les 14 et 15 janvier* 1839. Lettre de M. Eichwald (*Neu. Jahrb.*, 1840, n° 1, p. 94). — Eichwald, *Periplus der Caspischen meeres*, vol. I, p. 203. — Trusson, Eichfeld et de Taeger, *Observations sur les sources de naphte et les feux de Bakou* (*Schrift d. in Saint-Petersburg gestift. russ. k. Ges. f. d. ger. miner.*, vol. I, p. 239-252. 1842). — *Rapport sur la production du naphte et du sel sur les bords de la mer Caspienne*, par M. Völkner (*Gornoï Journ.*, — *Ann. de Berghaus*, vol. XVIII, p. 79. 1838).

(2) *Coup d'œil sur la composition géologique de la rive orientale de la mer Caspienne* (*Annuaire du Journ. des mines de Russie*, vol. V, p. 143. 1838).

du sol. Sa température est de 29° R., et celle des sources salines chaudes du voisinage est de 39° R. Les unes et les autres sortent d'une fente en forme de voûte qui se trouve dans un grès à petit grain. Le naphte ne paraît pas descendre au-dessous du calcaire qui serait ainsi sa limite inférieure.

Les puits sont creusés dans le sable, dans l'argile, dans le grès ou dans le calcaire même. Le naphte coule abondamment les premiers jours ; il diminue ensuite successivement, puis on abandonne les exploitations pour en creuser d'autres. Les sources de naphte n'ont pas de direction constante comme à Bakou. La substance filtre aussi bien par le fond que par les parois des puits. En général, elle est plus abondante l'été que l'hiver, et dans certains puits elle s'arrête aux premières gelées. La profondeur de ceux-ci ne dépasse pas 10 mètres dans le sable, 24 mètres dans l'argile et 60 dans le calcaire et le grès ; ces derniers produisent peu. On trouve encore, sous forme de nids ou de rognons, de la grosseur du poing jusqu'à 2 mètres de diamètre, dans le sable et l'argile et près des sources de naphte, une variété de cette substance (*naphte dakhil* ou *nepdakhil*) qui est noire, tenace, à cassure brune, à éclat gras faible, et qui se laisse couper au couteau. Elle est employée pour l'éclairage, et peut, à quelques égards, remplacer le suif. La quantité de naphte exportée annuellement en Perse par les Troukmènes s'élève à 2,203,912 kilogrammes.

M. W. Ainsworth (1) a de nouveau décrit les sources célèbres de Hit, petite ville située à 42 lieues à l'O.-S.-O. de Bagdad. Le bitume qu'elles fournissent a été employé, comme on sait, à la fabrication du mortier indestructible des palais de Babylone. Ces sources, visitées successivement par Alexandre, Trajan et l'empereur Julien, ont beaucoup perdu de leur ancienne renommée, et leur produit n'est plus employé qu'à goudronner les bateaux qui naviguent sur l'Euphrate et sur le Tigre. Cependant le sel que l'on obtient par l'évaporation des eaux est encore l'objet d'un commerce considérable. Les sources sortent d'un calcaire argileux, souvent magnésien, à cassure conchoïde et contenant de l'hallite ou aluminite terreuse. Au-dessus est un dépôt de gypse qui occupe tout le pays environnant. Leur température est de 31°,11 et 36°,67. L'eau est limpide, aigre-douce et laisse dégager une odeur de sulfure d'ammoniaque. Il en sort beau- Perse.

(1) *Researches in Assyria*, etc. Recherches dans l'Assyrie, la Babylonie et la Chaldée, in-8. London, 1838.

Digitized by Google

coup de gaz, et le bitume apporté en même temps flotte à la surface. Le produit est de 12 à 15 litres par heure, et les matières salines se déposent sur les bords de la fontaine (1).

Dans le Kurdistan méridional, le même voyageur signale des puits de naphte de 5 mètres de profondeur et remplis aux deux tiers d'une eau qui tient en dissolution plusieurs substances salines. Il décrit (p. 242) les feux naturels d'Abu-Géger qui s'échappent d'une petite dépression située au sommet de la chaîne de Kara-Chuk-Dagh sur le bord du Tigre. Les flammes qui sortent d'un calcaire lacustre avec Cyclades ne ressemblent point à la faible lueur de l'hydrogène, mais constituent un feu violent et très ardent, pareil à celui que produirait un mélange de soufre, de charbon et de bitume. Le sol environnant, brûlé et calciné, est couvert de bitume réduit en coke ou à demi consumé, de soufre pulvérulent et cristallin, et de produits bitumineux grossiers et impurs.

Ces effets seraient dus, d'après M. Ainsworth, à une action chimique locale, telle que la combustion des argiles bitumineuses et des schistes alunifères carburés comme on en connaît en Europe; mais il ne peut admettre qu'il y ait en cet endroit aucune action réellement volcanique. Non loin d'Abu-Géger, se trouvent aussi de nombreux puits de pétrole, toujours peu profonds et creusés dans des couches tertiaires semblables aux précédentes.

Sur les bords du Tigre, il existe diverses sources thermales dégageant de l'acide hydrosulfurique et déposant beaucoup de soufre. Au sud de Mossoul les collines, qui sont composées de calcaires, de gypse et de marnes argilo-bitumineuses, sablonneuses ou ferrugineuses, laissent échapper de leur base des sources qui déposent aussi du soufre, du bitume et du fer carburé. Au sud des mines de soufre qui sont à 3 lieues de Mossoul, le gypse prédomine et il est accompagné des marnes inférieures bitumino-argileuses, d'où sortent les fontaines de pétrole et d'acide hydrosulfurique d'Amam-Ali.

Presqu'île orientale de l'Inde.

Dans sa note sur la *Géologie de l'île de Chedooba* (côte d'Aracan), M. P. Halstead (2) a fait connaître quatre pseudo-volcans, qui sont des monticules isolés, de 35 à 350 mètres d'élévation, composés d'argile endurcie enveloppant de nombreux fragments de

(1) Voyez aussi : R. Hamilton, *Esquisse géologique du bassin situé entre le Tigre et l'Euphrate*. (*Soc. wern. of Edinburgh*, 3 avril 1841. — *Bibl. univ. de Genève*, vol. XXXVI, p. 418.)

(2) *Journ. of Asiat. Soc. of Bengal*, vol. X, p. 433. 1840.

Digitized by Google

pierres. Deux autres plus petits, composés aussi de boue, émettent beaucoup de bulles de gaz. Sur deux points on voit l'eau soulevée par le gaz, et un autre volcan boueux paraît exister sous la mer au nord-ouest de l'île Plate, à l'endroit où se trouve actuellement un récif. Il s'en dégageait encore des flammes il y a peu d'années.

Le pétrole de Rangoon (Pégou), à 7 lieues de l'embouchure de l'Irrawaddy, a été récemment étudié par plusieurs chimistes. M. R. Christison (1) le décrit comme ayant la consistance du lard, à la température moyenne du pays. Sa pesanteur est moindre que celle de l'eau, dans le rapport de 880 à 1,000. Il a l'odeur du naphte, laquelle diffère essentiellement de celle des autres pétroles. Cette substance, qui se trouve dans le voisinage de la ville, à un mètre environ au-dessous du sol, y est très abondante et sert à divers usages. Traitée par l'alcool, l'éther et les huiles volatiles, on en obtient un corps cristallin, en masses foliacées, composées de petits cristaux d'un blanc de neige, brillants, que l'auteur nomme *pétroline*, et qu'il croit être la même substance que la *paraffine* de M. Reichenbach.

M. W. Gregory (2), après avoir examiné le pétrole de Rangoon et divers autres corps analysés par MM. Reichenbach, de Saussure, Thomson et Christison, conclut :

1° Qu'il y a quelques espèces de naphte qui contiennent de la paraffine et de l'eupione, et que ce sont des résultats de distillation naturelle ;

2° Que le naphte examiné par M. Reichenbach, et qui était de l'huile de térébenthine naturelle, diffère essentiellement de celui de Rangoon et de Perse, aussi bien que de celui que l'on vend à Paris, lesquels ne sont certainement pas des huiles de térébenthine ;

3° Que le fait de l'huile de térébenthine obtenue par M. Reichenbach en distillant du lignite (*brown coal*) à 100° prouve que cette espèce de charbon n'avait pas été auparavant exposée à une chaleur suffisante pour en expulser l'huile de térébenthine, et, *à fortiori*, qu'elle n'avait jamais été soumise à une distillation décomposante. Quant à l'origine du naphte, l'auteur regarde cette substance comme un produit de distillation. Le pétrole des pays houillers en diffère probablement, car la houille dans sa décomposition

(1) *Chemical examination*, etc. Examen chimique du pétrole de Rangoon (*Transact. Soc. of Edinb.*, vol. XIII, p. 118. 1831-1834).
(2) *Ibid.*, p. 124.

Digitized by Google

prouve qu'elle n'a été soumise, à aucune époque, à une haute température (1).

Chine. On sait depuis longtemps combien sont nombreux et remarquables, en Chine, les phénomènes dont nous nous occupons et l'utilité qu'on en retire ; nous ne reviendrons point sur des détails que M. de Humboldt a d'ailleurs reproduits d'une manière intéressante dans son ouvrage sur l'Asie centrale, auquel nous renvoyons (2). Ces montagnes de feu, ces fontaines ardentes, etc., se trouvent d'ailleurs très loin de la mer. Les puits de feu les plus célèbres sont ceux de Szu-Tchhouan, et ils se rencontrent toujours dans le voisinage des sources salines, fort répandues aussi dans cette partie de l'empire chinois.

Des échantillons d'eau salée et de bitume envoyés de la Chine ont été analysés par M. Bertrand (3), et leur gisement a été décrit par M. Imbert, missionnaire. Les eaux salées, obtenues par des puits de 600 à 1,000 mètres de profondeur, renferment $\frac{31}{100}$ de matières salines (chlorure de sodium, de calcium et de magnésium). Le gaz inflammable se dégage des puits à sel, et le bitume paraît provenir également des couches salifères.

Japon. Dans la province de Sinano, le grand lac au nord-ouest de Takasimo est entouré de sources thermales ; et sur d'autres points, il y a des puits de naphte et des dégagements de gaz hydrogène (4).

Amérique du Nord. Les dégagements de gaz inflammable ont aussi lieu avec beaucoup d'intensité dans plusieurs parties des États-Unis. M. Beck (5) a décrit les émanations de ce genre qui se manifestent dans l'État de New-York, et particulièrement dans la ville d'Albany, au moyen de sondages poussés jusque dans les schistes. Il en existe également à l'ouest de Vernon, dans le comté d'Onéida et dans celui d'Ontario, puis dans la ville de Royalton (comté de Niagara), près de Fredonia, et sur d'autres points du comté de Chautauque. A trois milles au sud du lac Érié, le gaz sort d'un schiste bleu. Un

(1) Voyez aussi, sur cette question : Reichenbach (*Schwegger Seidel's Journ. für praktische chem.*, avril 1834).

(2) Vol. II, p. 519.

(3) *Compt. rend.*, vol. XXII, p. 667. 1846.

(4) De Humboldt, *Asie centrale*, vol. II.

(5) *State of New-York*, etc. Communication du gouverneur, du 20 fév. 1838. — *Rapport sur la partie chimique et minéralogique de l'exploration*, p. 41 — Voyez aussi : Beck, *Minéralogie de l'État de New-York*, in-4. Albany, 1840.

Digitized by Google

sondage a été poussé à 7 mètres dans des schistes et des substances bitumineuses. Le gaz est conduit, au moyen de tubes, dans un gazomètre, et distribué ensuite dans les diverses parties du village, comme cela se pratique en Chine de temps immémorial.

M. Beck fait remarquer qu'il y a dans les schistes des veinules ou des portions de matières bitumineuses qui brûlent avec une flamme semblable à celle du gaz qui se dégage du sol; que les grès qui alternent avec les schistes offrent partout de petites cavités remplies de pétrole, substance qui, dans l'origine, paraît avoir été disséminée dans toute la formation; et que l'on peut présumer que le gaz est formé par l'action de la chaleur sur les roches imprégnées de matières bitumineuses. Des sources de gaz nitrogène existent aussi dans le pays. La plus remarquable de celles que cite M. Beck est la source de Lebanon.

On a depuis peu signalé au Texas un *lac de poix*, d'un quart de mille d'étendue, avec une source de pétrole qui coule pendant l'été (1).

Le lac de *Brée* ou de bitume, dit M. Ch. Deville (2), a 4,828 mètres de circonférence. Sa forme est une ellipse imparfaite, et son élévation est de 43^{m},8 au-dessus de la mer, où s'écoulent ses eaux à un mille de distance. La consistance du bitume qu'il renferme varie depuis une solidité telle que d'énormes chariots chargés et traînés par des bœufs passent dessus sans y enfoncer, jusqu'à une extrême fluidité, qui est l'état auquel il est rejeté constamment par l'orifice situé au milieu du lac. L'eau de ce dernier n'a pas une température plus élevée que celle de l'air; sa surface, dans les parties solides, se crevasse et se fendille comme celle d'un glacier, et l'eau circule dans les fentes, puis s'écoule vers la mer par deux ravins principaux. Souvent aussi des excavations naturelles ou artificielles se comblent par suite de la tendance de l'asphalte à se niveler. Une excavation, d'où l'on avait retiré 2 millions de kilogrammes de substance bitumineuse, a repris, peu de mois après, le niveau général du lac. Ile de la Trinité.

Ce vaste amas de bitume sort d'un sol exclusivement composé d'argile grisâtre. Au S.-O., on trouve une petite élévation formée de roches argileuses rougeâtres, de roches arénacées micacées, et d'argiles plus ou moins endurcies. Ces roches, qui paraissent

(1) *Taschenbuch, etc.*, de *Leonhard*, vol. I, p. 119. 1845.
(2) *Société philomatique*, 26 juin 1841. — *L'Institut*, Id.

Digitized by Google

tertiaires et sont peut-être d'origine lacustre, ont été redressées avant la sortie du bitume. Celui-ci s'est trouvé limité au S. et au S.-O., ce qui l'a obligé de gagner la mer vers le N. et le N.-E. L'argile grise, d'où sort le bitume, paraît s'être déposée au pied des couches redressées. Elle forme aussi de petits îlots recouverts de végétation et qui semblent reposer sur la nappe de bitume. Elle constitue en outre le rivage, depuis la pointe de Courbaril jusque vers les lagunes d'Oropuche, et reparaît encore sur le littoral de South-Naparima.

Dans l'anse de la pointe d'Or, où elle renferme une couche de lignite imparfait composé de plantes monocotylédones, on peut observer la superposition du courant de bitume au dépôt argileux et sa postériorité à tous les autres phénomènes. Le lac de Brée se lie à diverses éruptions du même genre, car outre les salses de Cumana et d'Icacos, il y a encore d'autres endroits dans le pays où le bitume arrive à la surface du sol et dont la Brée serait en quelque sorte le point central. L'apparition de ce bitume doit être regardée d'ailleurs comme très récente et en rapport avec les volcans boueux en activité. En calculant l'effet de l'action érosive du courant des bouches de l'Orénoque sur les côtes de l'île, M. Deville estime que la couche de bitume qui forme le lac de la Trinité doit avoir environ 1,300 ans d'ancienneté.

Considérations théoriques.

« Lorsqu'on réfléchit, dit M. Virlet dans une note que nous » avons déjà citée (*antè*, p. 411), que partout où les bitumes mi- » néraux ont été rencontrés avec quelque abondance, ils sont pres- » que toujours en rapport plus ou moins direct avec des phéno- » mènes volcaniques; que dans le plus grand nombre des cas ils » semblent se lier intimement avec les dépôts salifères; que là c'est » avec des gypses, du soufre, ailleurs avec des sels ammoniacaux; » que beaucoup de roches dites ignées ou volcaniques, telles que » certains granites, des wakites, des basaltes, etc., en contien- » nent; qu'un grand nombre de sources minérales et thermales en » produisent quelquefois des quantités considérables, on est con- » duit à les regarder eux-mêmes comme des produits volcaniques » qui se forment dans des circonstances toutes particulières, sans » qu'il soit besoin de recourir à la décomposition des corps inor- » ganiques pour expliquer la formation de ces carbures d'hydro- » gène. »

Ce géologue rejette l'opinion de M. Reichenbach, que les sources de pétrole sont dues à la seule distillation lente, à une basse tempé-

Digitized by Google

rature, des amas de houille, parce qu'elles n'auraient pu se perpétuer sans s'affaiblir pendant un si grand nombre de siècles. Pour alimenter les seules sources de Zante, par exemple, depuis le temps d'Hérodote, il n'eût pas fallu moins de 174,000,000 quintaux de houille; et comme leur écoulement est sans doute de beaucoup antérieur à cet historien, toutes les mines de houille d'Angleterre réunies n'auraient pu suffire à alimenter, par leur distillation lente, les seules sources de cette île.

Plus tard, s'appuyant sur la relation du voyage de M. Lenz à Bakou, M. Virlet (1) y a trouvé un nouvel argument dans le développement que les phénomènes bitumineux y manifestent de temps immémorial, et à l'alimentation desquels toutes les houilles du globe n'auraient pu suffire. Enfin, il rapporte des passages d'anciens auteurs qui indiqueraient qu'il y a eu, à différentes époques, dans la mer Morte, des éruptions sous-marines accompagnées de dégagements de gaz hydrosulfurique et d'asphalte.

M. G. Bianconi, dans l'excellent travail dont nous avons déjà parlé (2), a réuni tout ce que l'on sait jusqu'à présent à ce sujet. Il a fait remarquer d'abord que les émanations ou éruptions occasionnées par le gaz hydrogène ne produisent aucun changement dans les roches d'où elles proviennent ni dans celles qu'elles traversent, et ensuite que ces divers produits hydrogénés se trouvent réunis par groupes plus ou moins nombreux. Cette circonstance établirait donc déjà que, sous ces divers lieux, plus que sous tous les autres, il existe une cause efficiente propre à développer l'hydrogène, et que les conditions géologiques de ces localités doivent être prises en considération pour arriver à connaître le terrain dans lequel gît la cause du phénomène.

L'Europe paraît être jusqu'à présent la partie du globe où l'on connaît le plus grand nombre d'émanations de gaz hydrogène. Ainsi, la Sicile, l'Apennin et la Crimée y constituent trois groupes remarquables où se trouvent réunis les volcans boueux, les fontaines ardentes, les sources gazeuses, bitumineuses, etc.; puis on les retrouve sur les deux rives opposées de la Caspienne, dans la Natolie, la Perse, la Chine, le Japon, à Timor, à Java, etc.; mais dans tout le continent américain et les îles qui en dépendent, ex-

---

(1) *Bull.*, vol. IV, p. 372. 1834.
(2) *Historia naturale*, etc. Histoire naturelle des terrains ardents, etc., in-8. Bologne, 1840.

Digitized by Google

point d'ailleurs bornées aux phénomènes produits par le gaz hydrogène, et elles s'étendent également aux *lagoni* du Volterrais et à un grand nombre de phénomènes aqueux ou gazeux distincts des précédents.

Vallisnieri, en 1706, attribuait ces effets à la moindre pression de l'air dans les temps humides ou pluvieux, et Targioni, en 1769, adopta la même opinion, qui fut reprise et confirmée par Struve en 1803. Mais Volta avait donné, en 1784, une explication différente et moins plausible. Il pensait que l'eau de pluie, s'infiltrant par les fissures d'où sortait le gaz, le contraignait à s'échapper en plus grande quantité. Cette explication, que le célèbre physicien appuyait d'une expérience d'ailleurs assez ingénieuse, ne pourrait être admise qu'autant que l'accroissement d'intensité du phénomène suivrait toujours la pluie ; mais lorsqu'il la précède au contraire et en annonce l'approche, elle devient tout à fait insuffisante, et il en est de même de l'opinion de Spallanzani. Quant à l'objection de ce dernier, qu'il n'y avait pas augmentation des effets toutes les fois qu'il pleuvait, il faut remarquer que le baromètre ne baisse pas non plus toutes les fois qu'il pleut, et on doit admettre en outre que beaucoup d'autres causes accidentelles peuvent modifier l'intensité des dégagements de gaz, d'eau salée, de matières boueuses, etc.

Les bitumes étant formés d'hydrogène percarboné, et le gaz inflammable d'hydrogène carboné, le premier peut passer à l'état liquide ou de gaz oléifiant, soit par la réaction sur le chlore, soit par une pression très forte et graduée : aussi M. Bianconi pense-t-il que telle est l'origine des bitumes qui sourdent à la surface du sol. Cette opinion, qui lui paraît jusqu'à présent la plus probable, est aussi celle qu'a exprimée M. d'Omalius d'Halloy (1). Enfin l'ouvrage du savant professeur de Bologne se termine par l'indication des fontaines ardentes, sources inflammables, etc., rapportées par Pline, Strabon, Pausanias, et les autres écrivains de l'antiquité.

Appendice bibliographique.

Eichwald. — *Éruption nouvelle à Bakou, les 14 et 15 janvier 1839* (*Neu. Jahrb.*, 1840, p. 94).

Trusson, Eichfeld, et de Taeger. — *Observations sur les sources de*

(1) *Précis élémentaire de géologie*, p. 678, in-8. Paris, 1843.

Digitized by Google

naphte et les feux de Bakou (*Schrift. d. in St-Petersburg gestift. russ. k. ges. f. d. ges. miner.*, 1842, vol. I, p 239-252).

Bunsen. — *Sur les sources de pétrole autour de Cassel* (3e *Jahresb. d. ver. f. naturk. in Cassel*, p. 12).

Studer et Lardy. — *Sur une émanation d'hydrogène carboné enflammé accidentellement en sortant d'une fente, dans le grès de Gurnigel accompagné de gypse à Burgerholz* (canton de Fribourg) (*Neu. Jahrb.*, 1840, p. 461, et 1841, p. 190).

Lardy. — *Émanations de gaz dans les mines de sel de Bex, et explosion* (*Ibid.*, p. 191. 1841).

— *Vallée de la Mort, à Java, ou dépression du sol exhalant de l'acide carbonique* (*Taschenb., etc.*, de *Leonhard*, vol. I, p. 31).

Goebel. — *Des exhalaisons gazeuses des salses de Taman* (*Reise in die Steppen d. Sudlich Russland*, vol. II, p. 655).

E. de Bibra. — *Sur les feux de St-Elme et les tremblements de terre en Franconie* (*Ann. der phys.*, vol. XLVI, p. 138).

F. de Kobell. — *Sur la source de pétrole à Fegernsee* (*Alpes bavaroises*) (*Abh. d. bair. Acad. d. Wiss.* pour 1831-1836, vol. II, p. 141-162. 1837).

Al. Wehrle. — *Die Gruben Wetter*, etc. Des émanations de gaz délétères dans les mines ; leurs causes ; des moyens de s'en préserver, etc., in-8, 2 pl. Vienne, 1805.

— *Des grands effets de gaz explosifs dans les cavernes et les séries de vides communiquant ensemble, par rapport aux tremblements de terre* (*Ber. ub. d. vers. Deutsch. naturf. in Prag*, 1838, p. 145).

G. Bischof. — *Examen du gaz des mines de houille prussiennes* (*Neu. Jahrb.*, 1839, p. 507-517).

C. de Schauroth. — *Die Gruben Wetter*, etc. Les gaz des mines, etc., in-8. Heidelberg, 1840.

Glocker. — *Détonation dans le mont de Reichnau, en Moravie* (*Taschenb., etc.*, de *Leonhard*, 1845, vol. I, p. 82).

Digitized by Google

Digitized by Google

CHAPITRE II.

EAUX MINÉRALES ET THERMALES.

---

§ 1. Considérations générales sur les eaux minérales et thermales.

Cette partie si importante des phénomènes qui se passent à l'intérieur de l'écorce terrestre se lie intimement à ceux dont nous venons de nous occuper, et souvent même dans la nature on ne peut les étudier séparément. D'un autre côté, le voisinage plus ou moins immédiat des produits volcaniques, tant anciens que modernes, ne permet pas non plus de penser que les causes des sources thermales soient complétement indépendantes des agents qui, à diverses époques, ont projeté les roches ignées à travers les dépôts sédimentaires, et qui, sous nos yeux encore, soulèvent les laves, les gaz et les vapeurs dans les cheminées des volcans. Cependant la généralité des faits non plus que les théories que l'on a proposées n'établissent suffisamment les rapports mutuels de ces causes, ni si elles se trouvent agissant simultanément sur un même point, ou si, au contraire, elles ne sont que des conséquences les unes des autres, se manifestant, suivant certaines circonstances, à des niveaux différents de la croûte oxydée du globe.

Il semble, en effet, que les dégagements d'hydrogène carboné, de naphte, de pétrole, les salses, etc., ne proviennent que d'une faible profondeur au-dessous de la surface actuelle du sol, et qu'ils ont leur siége dans des roches en couches régulières, puisqu'on peut les obtenir par des moyens artificiels tels que les puits et les sondages. Les sources thermales, au contraire, et surtout celles qui déposent de la silice, doivent probablement leur haute température aux régions plus inférieures d'où elles nous arrivent par des canaux irréguliers dont la marche capricieuse ne nous est pas connue. Enfin, les laves fondues ont sans doute leur point de départ à des profondeurs beaucoup plus grandes encore, malgré l'immensité de la pression hydrostatique que l'on est obligé d'admettre pour faire déborder ces matières par un orifice tel que celui de

Digitized by Google

l'Etna, par exemple, placé à 3,300 mètres au-dessus du niveau des mers.

Il eût été à désirer de pouvoir classer les eaux minérales et thermales, soit d'après leur composition, soit d'après les roches d'où elles sortent ; mais, à l'exception de quelques portions du globe et particulièrement de l'Europe, où des recherches très détaillées ont été faites, les renseignements que l'on possède sont trop souvent incomplets pour permettre une classification chimique ou géologique de ces produits; et, d'après le caractère même de notre travail, il paraîtra tout aussi convenable d'adopter, comme nous devons le faire d'ailleurs le plus ordinairement, un ordre géographique. Nous donnerons d'abord, sous forme d'introduction ou de *considérations générales*, un résumé du rapport si remarquable qu'a fait M. Daubeny, en 1836, à l'Association britannique réunie à Bristol, rapport qui montre parfaitement l'état de la science à cette époque; puis nous indiquerons les résultats obtenus par M. Fontan, à la suite de ses recherches dans l'ouest de l'Europe ; nous reprendrons ensuite géographiquement toutes les observations que nous avons pu recueillir sur les sources minérales et thermales des diverses parties du globe, et nous terminerons ce chapitre par l'exposé des idées théoriques qui ont pour but la recherche de l'origine de ces phénomènes et des lois auxquelles ils peuvent être soumis.

Rapport de M. Daubeny. Eaux atmosphériques.

M. Daubeny (1) commence par rappeler la découverte récente dans l'eau atmosphérique de petites quantités de fer, de manganèse, de nickel, de certains composés ammoniacaux, et d'une substance particulière organique, brun-jaunâtre, différente des matières extractives connues, et à laquelle on a donné le nom de *pyrrhine* (2). Il y existe en outre du muriate de potasse, de l'acide muriatique, du gaz acide carbonique et de l'hydrogène carburé. La présence de la pyrrhine a été attribuée par M. Ehrenberg aux gemmes d'une classe particulière d'infusoires (polygastriques), qui, étant entraînés par les courants et par l'évaporation, remplissent ensuite l'atmosphère. La présence des sels et des acides peut s'expliquer par des causes analogues, mais celle des corps métalliques est plus difficile.

Eaux des mers et des lacs.

Outre les principes généralement connus, M. Wollaston y a

(1) *Report on the present state*, etc. Rapport sur l'état actuel de nos connaissances sur les eaux minérales (*Rep. 6th Meet. brit. Assoc. at Bristol*, 1836 (Londres, 1837), vol. V, p. 1).

(2) Zimmermann et Witting (*Arch. de Karsten*, vol. II et V).

Digitized by Google

trouvé de la potasse, Pfaff de l'iode, et Balard du brome. Cette dernière substance seule y est en quantité assez notable pour être mesurée, mais sa proportion ne paraît pas dépendre de la proportion relative des principes salins. Quant à ceux-ci, M. Marest a fait voir que l'Océan du Sud contient plus de sel que l'Océan du Nord, dans la proportion de 1,02919 à 1,02757, et que, sous l'équateur, la proportion du sel est une moyenne entre les deux (1). M. Daubeny avait aussi obtenu des résultats semblables.

Lenz, compagnon de Kotzbue dans son voyage autour du monde, avait déduit de ses observations : 1° que l'Océan Atlantique est plus salé que l'Océan du Sud, et que l'Océan Indien qui les unit est plus salé à l'O., où il touche l'Atlantique, qu'à l'E., où il joint la mer du Sud ; 2° que dans chacun de ces Océans, il y a un maximum de salure vers le N. et un autre vers le S., le premier étant plus éloigné de l'équateur que le second : entre ces deux points, le minimum de salure, dans l'Atlantique, se trouve à quelques degrés au S. de l'équateur; dans l'Océan Pacifique, il reste à déterminer; 3° que dans l'Océan Atlantique la portion occidentale est plus salée que la portion orientale; dans l'Océan Pacifique le degré de salure ne paraît point varier; 4° que si, à partir du maximum de salure, on s'avance vers le N., la pesanteur spécifique de l'eau diminue à mesure que la latitude s'accroît; 5° que, de l'équateur jusqu'à 45° de latitude N., l'eau de la mer, depuis la surface jusqu'à la profondeur de 1,800 mètres, est uniformément salée.

M. Daubeny doute de l'exactitude de cette dernière assertion, à cause de l'imperfection des instruments employés pour obtenir l'eau des grandes profondeurs. Par la même raison, il ne pense pas qu'il soit bien constaté que la prédominance de l'oxygène sur l'azote, observée dans les eaux près de la surface de la mer et des rivières (2), existe aussi, comme le pense M. Arago, à 10,000 mètres de profondeur.

Parmi les eaux des lacs, celles du lac Ourmia, dans la province d'Azerbijean en Perse, renferment $\frac{111}{500}$ de sel, et la mer Morte $\frac{102.5}{500}$.

---

(1) *Philosophical Transactions*, vol. CXII.

(2) Thomson (*Records of general science*, sept. 1836) a trouvé que l'air contenu dans l'eau, à la surface de la Clyde, était composé de 70,9 d'azote et de 29,1 d'oxygène; et que, dans un mélange des deux gaz placés sur l'eau, l'oxygène est absorbé plus rapidement que l'azote.

Digitized by Google

Le lac Elton, dans la Russie asiatique, contient près de 30 p. 100 de matières salines (1). Ce sont particulièrement des muriates de magnésie. La mer d'Okhotsk renferme des muriates d'alumine et beaucoup d'autres muriates déliquescents, ce qui en rend le sel malsain. Les lacs de borax du Thibet ne sont pas encore bien connus quant à leur origine.

Température des sources.

Les sources thermales sont celles dont la température est supérieure à la température moyenne du lieu (2), et d'après M. G. Bischof, des variations s'observent dans la température des eaux thermales d'un pays, lorsque leur température ordinaire est peu élevée. Des variations annuelles ont été reconnues dans celles de Bourboule (Puy-de-Dôme) et de Balaruc (Hérault). D'autres se manifestent dans des périodes plus longues, ce qui peut s'expliquer quelquefois par l'influence des tremblements de terre, ou des actions volcaniques qui se seront produites dans le voisinage plus ou moins immédiat des sources, ainsi que cela a lieu dans le Vénézuéla. Sur d'autres points, comme dans les Pyrénées, d'après les observations d'Anglada, la diminution de température qui a été remarquée depuis 65 ans ne pourrait être attribuée à ces causes. Certaines sources, telles que celles de Carlsbad, n'ont, au contraire, éprouvé aucune variation dans leur température depuis plus de 50 ans. Aussi M. Daubeny conclut-il que, dans les lieux où il ne se produit pas de phénomènes volcaniques, la température des sources thermales n'a pas sensiblement changé depuis un grand laps de temps. Si un changement avait eu lieu, ajoute-t-il, c'eût été probablement un abaissement.

Composition des eaux minérales et thermales.

Le savant chimiste d'Oxford n'admet pas l'opinion de Doebereiner (3), que les sels présentent dans les eaux minérales certaines proportions relatives définies et constantes; ou du moins cela n'a lieu que comme un fait local (sources de Geilnau dans le Taunus, de Fachingen, de Carlsbad), car les sources de Steinbad à Tœplitz, de Neundorf, de Riepoldsau, de Pyrmont, de Marienbad, de Halle, etc., ont, à diverses époques, présenté des compositions différentes.

Sous le point de vue médical ou thérapeutique (p. 14), M. Dau-

(1) Voyez *antè*, p. 297, ce qui a été dit de la composition des eaux de ces lacs depuis le rapport de M. Daubeny.

(2) *Edinb. new phil. Journ.*, avril 1836.

(3) *Ueber die chemische Constitution*, etc. Jena, 1821.

Digitized by Google

beny divise les sources : 1° en *alcalines*, ou renfermant une certaine quantité de carbonate de soude ; 2° en *salines*, ou riches en sels muriatiques ; 3° en *apéritives*, ou contenant des sulfates doubles ; en *sulfureuses*, ou renfermant de l'hydrogène sulfuré. Les premières peuvent se subdiviser suivant qu'elles renferment ou non du fer ; les secondes, qu'elles sont avec ou sans iode et brome ; les troisièmes, selon qu'elles contiennent des sulfates alcalins, magnésiens ou alumineux ; enfin les quatrièmes, suivant qu'on y trouve de l'hydrogène sulfuré libre, ou joint à de l'hydrosulfure. Chacune de ces subdivisions peut encore se partager en deux sous-ordres, les *sources thermales* et les *sources froides*. Cette classification n'a d'ailleurs rien de scientifique, car on trouve souvent plusieurs de ces caractères réunis dans la même source.

Certaines substances ont été récemment découvertes dans les eaux minérales ; tels sont : le fer combiné à la silice, dans les sources de Lucques ; le fer avec l'acide muriatique, près de Glasgow et dans la basse Silésie ; le manganèse à Carlsbad et sur un grand nombre de points ; le zinc à Ronneby, en Suède ; la strontiane dans les eaux ferrugineuses de Seltzer et de Pyrmont, dans les eaux chaudes de Carlsbad, Konigsworth, Aix-la-Chapelle et Barset ; la baryte à Pyrmont et Carlsbad ; la potasse à Tœplitz, Konigsworth, Bourbon-Lancy et Cheltenham ; la lithine (lithia) à Pyrmont, Carlsbad, Franzensbad et Marienbad en Bohême, puis à Rosheim près de Strasbourg (1).

A l'exception du brome et de l'iode, les principes des eaux salées étaient regardés comme étant les mêmes que ceux de l'eau de mer. L'iode, fréquent dans les produits marins, est cependant rare dans l'eau elle-même, ce qui est l'inverse pour le brome. L'iode a été reconnu dans certaines sources du Piémont, à Hilbrunn en Bavière, et à Boning près Leith, puis dans les Andes de Popayan, à 80 ou 90 milles de la mer, et à 3,000 mètres au-dessus de son niveau. Le brome a été découvert à Kreutznach dans le Palatinat, à Rosenheim en Bavière, à Weisbaden dans le duché de Nassau, à Salins (Jura), à Bourbonne-les-Bains, et dans plusieurs sources du Hanovre. Enfin, l'iode et le brome ont été signalés par M. Dau-

---

(1) M. Walchner (*Compt. rend.*, vol. XXIII, p. 612. 1846) regarde le cuivre et l'arsenic comme accompagnant le fer dans les eaux minérales, opinion confirmée par les recherches de M. L. Figuier (*Ibid.*, p. 818).

Digitized by Google

beny dans plusieurs sources sortant de terrains d'âge très différent.

Ainsi, relativement à l'origine des substances nouvellement signalées, leur découverte a peu modifié le principe général connu du temps de Pline : *Tales sunt aquæ, qualis terra per quam fluunt.* Mais il y a des substances dont la présence ne peut être attribuée à la même origine, au moins d'une manière immédiate. Tels sont les acides fluorique et phosphorique, l'un trouvé à Hofgeismar, à Pyrmont et à Seltzer ; l'autre à Carlsbad, Seltzer, Ems, Wiesbaden et Gastein. L'acide phosphorique peut provenir, soit des débris organiques laissés dans les roches de sédiment, soit des minéraux dans la composition desquels il entre et qui font partie des masses granitiques. L'acide fluorique aurait une origine toute minérale.

Le carbonate de soude ne paraît pas se trouver généralement dans les roches que traversent les eaux thermales ; cependant Gilbert a calculé que les seules sources de Carlsbad donnaient dans une année plus de 13 millions de livres de carbonate de soude et environ 20 millions de livres de sulfate de la même substance ; de sorte que la quantité d'alcali produite annuellement sous ces deux formes s'élèverait à 6,746,050 livres. L'origine de cet alcali peut se trouver dans les roches feldspathiques à base d'albite, ou d'albite et d'orthose, comme le pense M. Bischof (1) ; et si les eaux thermales doivent leur température à la vapeur et aux gaz produits ou amenés par les phénomènes volcaniques, elles peuvent entraîner avec elles non seulement l'acide borique, mais aussi la soude qui, dans son trajet, entrera en combinaison avec les acides muriatique, sulfurique, carbonique ou autres.

La présence du carbonate de soude dans les couches secondaires peut être attribuée à des causes semblables à celles qui agissent aujourd'hui dans les lacs salés, où le natron résulte, soit de la décomposition du muriate de soude par le carbonate de chaux, soit de la conversion du sulfate de soude en sulfure, au moyen de matières organiques et de la décomposition de ce dernier par le carbonate terreux. Le natron de Hongrie et de certaines eaux minérales de Bavière semble être dû à l'une de ces causes. Dans le plus grand nombre des cas, la soude est combinée avec l'acide carbonique ; mais il paraît qu'elle existe aussi à l'état libre dans les eaux de Baréges, de Cauterets, de St-Sauveur, et dans certaines sources d'Islande et de l'Inde.

---

(1) *Ueber Kunst. min. Quellen*, vol. II.

Digitized by Google

La silice se trouve dans toutes les eaux thermales, et sa présence dans les plantes prouve qu'elle doit exister en dissolution dans les eaux ordinaires. M. Turner a fait voir, en comparant la composition du feldspath avec celle du kaolin résultant de son altération, que l'eau pouvait dissoudre une certaine quantité de silice ; car non seulement elle a enlevé toute la potasse du feldspath, mais encore 8 1/2 des 12 parties de silice qui entraient dans la composition de ce minéral, et elle a laissé toute l'alumine avec le reste de la silice. D'un autre côté, M. Fuchs (1) a démontré que la silice existe dans les minéraux sous deux états, cristallisé et amorphe, et que dans ce dernier cas elle est beaucoup plus susceptible d'être dissoute que dans le premier. Enfin, M. Turner a reconnu que le verre était rapidement dissous par la vapeur sous une haute pression, tandis que dans les mêmes circonstances le cristal de roche n'éprouvait aucun changement.

Les acides muriatique et sulfurique à l'état libre ne se trouvent que dans le voisinage des volcans. L'acide borique semble être aussi un produit volcanique. L'acide nitrique et l'ammoniaque existent dans les eaux thermales ou minérales ordinaires et froides. Souvent l'ammoniaque paraît être dû à la décomposition des matières organiques, et M. Daubeny a fait connaître la manière dont il envisageait la formation de cette substance dans les volcans (2). L'acide formique s'est aussi rencontré dans les eaux de Prinzhofen et de Brunnen en Bavière ; l'acide acétique en Piémont et en Bavière. A Porla, en Suède, M. Berzélius a signalé les acides crénique et apocrénique, d'origine organique.

La glairine serait encore un produit organique, se formant à la surface de l'eau en contact avec l'air et la lumière, ou peut-être même déjà dans les canaux que l'eau parcourt avant d'arriver au jour. La matière rouge ferrugineuse des eaux de Vichy serait due à une multitude de petits infusoires qui semblent avoir la propriété de sécréter l'oxyde de fer aussi bien que la silice, et de se développer dans les eaux ferrugineuses. Ainsi, tandis qu'une classe d'êtres, la glairine, exige la présence de sulfures, dans un état de combinaison tel qu'il serait tout à fait nuisible et même destructif pour certains corps organisés, une autre classe sécrète du fer, substance

(1) *Edinb. new phil. Journ.*, avril 1835.
(2) *Philosophical Transactions*, 1835.

Digitized by Google

également défavorable à la nourriture d'une grande partie des animaux.

Gaz contenus dans les eaux minérales et thermales.

(P. 36.) M. Daubeny traite d'abord du gaz acide carbonique et des précipités de carbonate de chaux et d'aragonite auxquels il donne lieu, puis il fait remarquer que le carbonate de magnésie manque dans les stalactites qui se forment à la suite du passage des eaux dans les roches dolomitiques (1). La quantité d'acide carbonique qui sort de la terre aux environs de Naples, comme à la *Torre dell' Annunziata* et sur d'autres points, soit des roches volcaniques, soit des sources thermales, ou des fissures du sol, paraît quelquefois varier avec les heures de la journée, l'état du ciel, la température, la direction des vents, etc. La permanence du gaz amené par les eaux serait due, suivant M. G. Bischof, à ce qu'il est dissous par l'eau à une grande profondeur et par conséquent sous une énorme pression. Ceci expliquerait, sans l'intervention de l'influence atmosphérique, les faibles variations observées dans l'écoulement du gaz. L'écoulement de l'eau est d'ailleurs trop uniforme pour qu'on puisse attribuer son élévation à l'élasticité du gaz comprimé, si ce n'est dans les geysers et dans le cas de Sprudel à Carlsbad ; et encore le dégagement de sa vapeur dans des cavités en communication avec la fissure qui donne passage à l'eau, ainsi que le suppose M. G. Mackenzie (2), rendrait-il mieux compte du phénomène.

(P. 39.) Dans le siècle dernier, Priestley et Pearson avaient signalé le dégagement de l'azote dans les eaux de Bath et de Buxton. M. Daubeny et d'autres chimistes l'ont constaté dans presque toutes les eaux thermales sulfureuses des Pyrénées et sur un grand nombre de points au pied des volcans éteints ou en activité ; mais, en général, la quantité en est moindre que dans les sources sortant des roches primaires ou des roches ignées associées aux roches anciennes. Dans une des sources de Bath, le dégagement du gaz, observé pendant un mois, a été de 222 pieds cubes par 24 heures. Ce gaz contenait 97 d'azote et 3 d'oxygène avec un peu d'acide carbonique. L'azote se dégage aussi des sources froides, telles que celles de Clanmal et d'autres en Écosse et dans le Shropshire.

---

(1) A la réunion de l'Association britannique à Bristol, M. Cross a fait voir qu'il pouvait produire à volonté, par l'action lente de l'électricité, de la chaux carbonatée ou de l'aragonite, avec la même eau chargée de carbonate de chaux, suivant qu'il la mettait sur du calcaire ou sur des schistes.

(2) *Travels in Iceland.*

Digitized by Google

(P. 42.) L'hydrogène carboné se dégage d'un grand nombre de sources, ainsi que des sources salées; enfin l'hydrogène sulfuré est fréquent dans les eaux thermales, et l'on sait qu'il n'a pas cessé de se manifester dans certaines localités, depuis l'antiquité jusqu'à nos jours. L'auteur pense que les eaux sulfureuses thermales ont une origine différente de celle des eaux qui sont froides et qui contiennent les mêmes principes. Ces dernières éprouvent quelquefois une diminution sensible dans la quantité de gaz qu'elles apportent. Dans toutes les sources sulfureuses des Pyrénées, l'hydrogène sulfuré n'est point libre, mais combiné à une base alcaline avec laquelle il constitue un hydrosulfure.

(P. 44.) Après avoir rappelé les faits qui tendent à prouver l'influence des tremblements de terre sur les sources, M. Daubeny passe à l'action des eaux minérales et thermales sur l'économie animale, traite de leur analyse, puis des eaux factices, des divers produits des sources et de leur origine en général. D'après M. de Buch, toutes les sources contenant de l'acide carbonique sont plus ou moins thermales; mais la loi indiquée par M. de Humboldt, que l'excès de température des sources sur la température de l'atmosphère s'accroît avec la latitude, paraît à M. Daubeny sujette à un grand nombre d'exceptions.

Le degré de température dont une source dépasse la moyenne du climat du lieu dépend, outre d'autres circonstances, de l'élévation de la surface du sol au point où elle sort. Ainsi, M. de Buch a fait voir (1) que, dans le même pays, des sources sortant à des niveaux différents et renfermant les mêmes substances minérales et gazeuses, n'avaient point la même température, et que les plus basses étaient aussi les plus chaudes. M. Boussingault a également constaté cette loi dans la chaîne littorale de Vénézuéla; mais, malgré l'assertion de M. Bischof, elle ne paraît pas exister pour les sources placées dans le voisinage immédiat des volcans.

A quelques exceptions près, M. Daubeny pense, comme Alexandre Brongniart (2), mais contrairement à une observation que nous verrons plus loin rapportée par M. de Humboldt, que les sources les plus chaudes sont celles qui sont associées aux volcans modernes; puis viennent celles des volcans éteints ou des roches

---

(1) *Ann. de Poggendorff*, vol. XXII.
(2) *Dictionnaire des sciences naturelles*.

Digitized by Google

primaires, et les moins chaudes sont celles qui se trouvent en rapport avec les dépôts sédimentaires les moins anciens.

Dans un mémoire précédent (1) le savant chimiste, dont nous analysons le travail, avait établi que la plupart des sources thermales s'échappent de roches volcaniques ou du voisinage des chaînes de montagnes soulevées, ou enfin de fentes ou de fissures résultant de brisements, circonstances qui servent de base à sa classification, quoique plusieurs d'entre elles se trouvent quelquefois réunies.

Classification des sources. Eaux thermales sortant des roches volcaniques.

(P. 62.) Ces sources peuvent être rangées sous deux titres distincts (2) : l'un comprenant celles qui renferment des gaz dérivés de l'action volcanique, l'autre celles qui, en étant dépourvues, ne sont que des réservoirs d'eau chauffée par le contact des roches qui ont conservé une certaine température due à la proximité des phénomènes volcaniques. Les sources de la Hongrie, du Mont-Dore et quelques unes de celles des Andes, sont dans le premier cas; celles d'Ischia sont dans le second (3).

Sources placées dans le voisinage des montagnes soulevées.

(P. 63.) En réunissant dans cette division les sources thermales qui renferment de l'acide carbonique et de la soude, M. Bischof y avait établi neuf groupes en Europe : 1° sources de l'Eifel et du Siebengebirge ; 2° celles du Westerwald et du Taunus ; 3° celles d'Habichtswald, de Meissner, du Vogelsgebirge et du Rhoengebirge ; 4° les sources du Fichtelgebirge ; 5° celles de l'Herzgebirge ; 6° celles des montagnes du centre de la Bohême ; 7° celles du Riezengebirge en Silésie ; 8° celles de l'Auvergne et du Vivarais ; 9° celles des Pyrénées. Les sources des groupes 1 et 8, ainsi qu'une partie de celles du 6e, rentrent dans la première division de M. Daubeny ; quant aux autres, elles se trouvent aussi dans le voisinage des roches trappéennes ou porphyriques, ce qui confirmerait leur origine volcanique. En outre, les sources minérales de cette nature ne dépassent guère au N., en Europe, la limite des roches trappéennes, laquelle coïncide avec la ligne d'élévation qui passe par le centre de l Allemagne.

---

(1) *London Review*, 1829. — *Edinb. new phil. Journ.* 1831.

(2) Daubeny, *On a Spring.*, etc. Sur une source de la Torre dell' Annunziata (*Edinb. new phil. Journ.*, 1835).

(3) Quoique nous nous soyons attaché à rendre exactement le texte de l'auteur, nous craignons cependant de n'avoir pas bien exprimé sa pensée dans ce passage.

Digitized by Google

Les sources thermales sont en général placées près de la ligne suivant laquelle l'élévation de la chaîne semble avoir commencé ; mais lorsqu'elles sont situées dans le voisinage de l'axe, c'est dans une vallée profonde qu'on les trouve, et à un niveau comparativement plus bas (Baréges, Cauterets dans les Pyrénées, St-Gervais dans les Alpes). M. J. D. Forbes a montré que dans les Pyrénées les sources chaudes sortent généralement à peu de distance des roches ignées, telles que les granites, les serpentines, les diorites, etc., et que les roches traversées par ces dernières ont été disloquées. Plusieurs de ces sources s'échappent à la jonction du granite et des roches stratifiées.

Sources en rapport avec des lignes de failles ou de dislocation.

(P. 65.) A Carlsbad, dans le duché de Nassau, les eaux thermales suivent 6 lignes distinctes, et dans leur voisinage les roches sont dérangées et souvent altérées ou modifiées. Une disposition semblable a été reconnue par l'auteur dans le département de l'Aude, dans celui des Pyrénées-Orientales, puis en Provence et en Angleterre.

Origine des sources thermales.

L'origine de la température des sources thermales a été attribuée par quelques personnes à la décomposition des pyrites dans l'intérieur de la terre. Anglada l'attribuait à des actions électriques, Aristote à la concentration des rayons solaires au centre de la terre dont la surface sphérique produisait l'effet d'une lentille ; Keferstein regardait les eaux thermales comme les produits de la respiration du globe qu'il supposait être un animal. Aujourd'hui deux hypothèses restent en présence, l'une chimique et l'autre physique. La première suppose l'existence de phénomènes chimiques qui auraient lieu à l'intérieur du globe, par l'oxydation des bases et de ces alcalis, terres et oxydes métalliques qui constituent la croûte terrestre, et cela au moyen de l'eau et de l'air ; c'est celle qu'adopte M. Daubeny. La seconde consiste à regarder les sources thermales comme le résultat de la chaleur interne du globe et comme possédant une température d'autant plus haute qu'elles arrivent de profondeurs plus grandes ; c'est l'opinion de Laplace et de M. G. Bischof, que l'auteur discute et sur laquelle nous reviendrons à la fin de ce chapitre.

Origine des gaz contenus dans les eaux thermales.

M. Bischof pense que l'acide carbonique qui se dégage des sources résulte de la calcination de carbonates terreux par la chaleur provenant de l'intérieur, pourvu qu'il y ait une certaine quantité d'eau présente, sans quoi, d'après M. Faraday, le dégagement n'aurait pas lieu. Les dégagements de nitrogène ont été discutés

Digitized by Google

par MM. Berzélius et Anglada. Le premier les attribuait à la décomposition des matières organiques, et le second à l'air atmosphérique renfermé dans les eaux et dont l'oxygène aurait été absorbé par les sulfures qui y sont contenus. M. Daubeny croit que l'opinion de M. Berzélius ne peut s'appliquer aux sources qui, comme celles de Bath, donnent 222 pieds cubes de gaz en 24 heures, et dans ce cas il admet qu'il existe certaines actions intérieures qui entraînent l'oxygène de l'air et laissent dégager l'azote isolé.

L'action des matières organiques sur des sulfates alcalins et terreux a été regardée (p. 73) comme la cause de l'hydrogène sulfuré des sources; mais cette opinion ne rend pas compte de la présence de ce gaz dans beaucoup d'eaux thermales, de même que dans les volcans : aussi l'auteur l'attribue-t-il à la décomposition de l'eau dans l'intérieur du sol, où l'hydrogène, en contact avec des émanations sulfureuses, donnerait lieu à l'hydrogène sulfuré, repoussé ensuite au dehors.

Origine des sources salées.

Les sources salées peuvent résulter de masses de sel, ou d'argiles salifères produites par l'évaporation de l'eau de la mer ou de lacs d'une composition analogue; mais d'autres causes, en rapport avec les phénomènes volcaniques, pourraient en produire également. Ainsi M. de Buch (1) a fait remarquer la relation des roches de sel et des sources salées avec le gypse anhydre de Bex, et il a attribué ces substances à des sublimations directes provenant de l'intérieur, ce qui pourrait avoir eu lieu dans beaucoup d'autres cas (2).

Enfin, M. Daubeny termine ce rapport, dont nous avons essayé de présenter les résultats les plus importants, par l'indication des principales publications sur les eaux minérales et thermales, suivie d'un catalogue général de celles de l'Europe rangées par pays avec leur composition en regard. Ce tableau, fort étendu, ne peut manquer d'être utilement consulté par les personnes qui s'occupent de cette importante question.

Europe occidentale.

Avant de passer à l'examen des recherches particulières qui ont été faites sur les sources minérales et thermales des divers pays, nous présenterons encore le résumé de celles qu'a entreprises M. Amédée Fontan, et qui, comprenant les eaux sulfureuses de l'Allemagne, de la Belgique, de la Suisse, de la Savoie et des

---

(1) *Ann. de Poggendorff*, 1835.
(2) Daubeny (*Ashmolean Society*, Oxford, 1836).

Digitized by Google

Pyrénées, embrassent ainsi une grande partie de l'Europe occidentale (1).

L'auteur distingue d'abord les eaux sulfureuses naturelles et les eaux sulfureuses accidentelles. Les premières sortent vraiment sulfureuses des roches primaires. Soustraites aux causes d'altérations extérieures, elles présentent une température constante et une invariabilité absolue dans les proportions de leur principe sulfureux. Les secondes acquièrent, au contraire, cette qualité par la décomposition d'un de leurs principes, sous l'influence de matières organiques altérées, lesquelles varient nécessairement suivant les circonstances qui les amènent. Les eaux sulfureuses accidentelles ne sortent jamais de roches primaires. Presque toujours le sulfate de chaux y joue le rôle essentiel. Décomposé par la matière organique, il se convertit en sulfure de calcium qui donne à son tour naissance à du carbonate de chaux, et à de l'hydrogène sulfuré, quand le liquide vient à se mettre en rapport avec l'acide carbonique.

Toutes les eaux étudiées dans les Pyrénées par M. Fontan étaient, à deux ou trois exceptions près, des sources sulfureuses naturelles. Toutes celles, au contraire, qu'il a examinées en Allemagne, en Belgique, en Suisse et en Savoie, paraissent être accidentelles; et il en sera toujours ainsi, dit-il, pour celles qui ne sortent point des roches primaires.

Les eaux sulfureuses naturelles sourdent toutes de ces dernières roches, ou à leur limite avec le terrain de transition. Si l'on en voyait sortir d'un terrain plus récent, on devrait en retrouver l'origine dans les roches primaires placées dessous. Les eaux sulfureuses accidentelles surgissent des terrains secondaire et tertiaire, et présentent, dans les principes salins qu'elles renferment, des différences essentielles qui les distinguent des précédentes.

Les sources sulfureuses naturelles sortent le plus ordinairement chaudes. Dans chaque localité où il y en a plusieurs, c'est la plus chaude qui est la plus sulfureuse, et elle le devient d'autant plus qu'on l'atteint plus profondément. Les sources accidentelles arrivent le plus souvent froides; et, si elles sont chaudes, elles deviennent d'autant plus sulfureuses qu'elles se refroidissent davantage dans chaque localité; plus on se rapproche des sources principales,

(1) *Recherches sur les eaux minérales de l'Allemagne, de la Belgique, de la Suisse et de la Savoie* (*Ann. de chim. et de Phys.*, vol. LXXIV, p. 225. 1840?. — *Compt. rend.*, vol. VII, p. 504. 1838).

Digitized by Google

moins elles sont sulfureuses. Il y a, en outre, une foule de circonstances dans lesquelles on peut reconnaître la transformation facile du sulfate de chaux en sulfure de calcium, et du sulfure de calcium en carbonate de chaux et en hydrogène sulfuré.

Le gaz qui se dégage spontanément des sources sulfureuses naturelles est de l'azote pur, tandis que celui qui sort des sources sulfureuses accidentelles est un mélange d'acide carbonique, d'hydrogène sulfuré et d'azote.

Les sources sulfureuses naturelles contiennent, en dissolution, une quantité notable de substance azotée qui se dépose quelquefois sous forme de gelée, et qui est désignée sous le nom de *barégine*. Les sources sulfureuses accidentelles n'en contiennent pas. Quand on y trouve de la matière organique, c'est de l'acide crénique. Ainsi les eaux des Pyrénées, à l'abri de l'air et de la lumière, déposent sur les parois du canal de la source une matière en gelée demi-transparente qui est de la *barégine*. Exposée à l'air, il s'en développe une autre sous forme filamenteuse, et que M. Fontan nomme *sulfuraire*. Elle est adhérente à un flocon de la substance gélatineuse, et offre, sous le microscope, des tubes transparents remplis de petits globules (1). Enfin, il remarque que les eaux naturelles sont très sulfureuses, que les autres le sont en général fort peu, et que, lorsque ces dernières le sont d'une manière notable, comme à Schenznach et Enghien, c'est toujours du sulfure de calcium qu'elles renferment, lequel est joint à une grande quantité de sulfate de chaux.

§ 2. Description géographique des eaux minérales et thermales.

Islande. M. Krug de Nidda a publié un *Mémoire sur les sources minérales* de l'Islande (2), et M. G. Bischof a reproduit une partie de ses conclusions dans son *Histoire naturelle des volcans et des tremblements de terre* (3). Les eaux thermales de cette île sont divisées en trois groupes, dont le premier comprend les eaux constamment bouillantes, ce sont les sources thermales permanentes; le second, celles qui ne sont qu'accidentellement bouillantes et restent tranquilles

(1) *Compt. rend.*, vol. IV, p. 855. 1837.
(2) *Arch. de Karsten*, 1836, vol. IX, p. 247-283. — *Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXII, p. 90-228. 1837.
(3) *Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXVI, n° 51, janv. 1839.

ensuite, ce sont les sources thermales intermittentes; et dans le troisième se rangent les eaux dont la surface est toujours calme et sans bouillonnement. Les premières ont constamment la température de l'eau bouillante, les secondes ne l'atteignent que dans leurs moments d'ébullition, et les troisièmes se maintiennent constamment au-dessous de 100°.

Quant à l'agent qui élève les eaux chaudes du grand geyser et du Strockur, M. Bischof pense, comme M. Krug de Nidda, que c'est un corps gazeux ou plutôt une vapeur aqueuse. L'intermittence des sources d'Islande serait due à des cavités où la vapeur se trouverait retenue par la pression qu'exerce la colonne d'eau dans le canal qui débouche à la surface du sol. Cette vapeur accumulée presse l'eau dans la cavité inférieure, jusqu'à ce que sa force élastique suffise pour se faire passage à travers la colonne d'eau qui l'avoisine. L'expansion violente de la vapeur produit le bruit souterrain et le tremblement du sol qui précède chaque éruption. Lorsqu'il s'est échappé assez de vapeur pour que la force expansive de celle qui reste soit moindre que la pression de la colonne d'eau voisine, la tranquillité se rétablit et continue jusqu'à ce qu'une semblable quantité de vapeur se soit de nouveau accumulée pour produire une nouvelle éruption. Ainsi le jaillissement de l'eau se répète à des intervalles qui dépendent de la capacité de la caverne, de la hauteur de la colonne d'eau et de la chaleur produite en dessous.

M. Bischof explique les deux éruptions différentes du grand geyser, l'une qui a lieu régulièrement toutes les deux heures et s'élève de 5 à 7 mètres, et l'autre plus grande qui ne se manifeste que toutes les 24 ou 30 heures et forme une colonne d'eau de 27 à 30 mètres au-dessus de l'orifice du trou, en supposant qu'il y a deux cavités de grandeur différente : la plus petite, qui se remplit le plus vite, fait éruption plus souvent; et l'autre, plus étendue, ne produit que des éruptions moins fréquentes, mais plus énergiques (1).

Toutes ces sources jaillissantes paraissent être indépendantes les

(1) Les expériences faites en grand par M. J. Jeffrys (10th *Meet. brit. Assoc. at Glasgow.—Bibl. univ. de Genève*, vol. LIX, p. 399. 1845) ont démontré que la vapeur d'eau, à une température au-dessous de la chaleur rouge, mais supérieure à celle qui est nécessaire pour opérer la fusion de la fonte de fer, dissolvait la silice, même en attaquant des minéraux compactes non divisés; ce qui

Digitized by Google

unes des autres. Situées au pied d'une chaîne de collines, elles résultent des eaux pluviales qui, tombant sur les hauteurs environnantes, pénètrent ensuite dans les profondeurs du sol, où elles s'échauffent par le contact des vapeurs qui s'en dégagent, et remontent à la surface avec ces dernières. Ce qui paraît confirmer cette manière de voir, c'est qu'au sommet des collines et sur leurs flancs on ne voit sortir que des vapeurs aqueuses ou du gaz hydrogène sulfuré (1).

---

expliquerait en partie les phénomènes des geysers, comme la présence des cristaux et des enduits de silice dans les roches et les filons.

D'un autre côté, les expériences de M. Donny (*Mém. de l'Acad. de Bruxelles*, vol. XVII. — *Ann. de chim. et de phys.*, 1846) ont fait voir : 1° que la constance du point d'eau bouillante, sous la pression atmosphérique, dépend de la quantité d'air plus ou moins considérable qu'elle contient ; 2° qu'il y a une différence sensible entre le point d'ébullition de l'eau renfermant de l'air et celui de l'eau qui en est privée ; 3° qu'une petite quantité d'air dissoute dans l'eau suffit pour diminuer beaucoup la cohésion des molécules de l'eau ; 4° que, lorsqu'elle est dépourvue d'air autant que possible, la cohésion des molécules aqueuses est tellement augmentée qu'une température plus élevée est nécessaire pour la vaincre, et que le point d'ébullition est porté beaucoup plus haut.

L'auteur, qui ne connaissait pas les expériences de M. Galy-Cazalat (*a*) ni celles plus anciennes de Deluc et de Bellani, est parvenu à élever la température de l'eau privée d'air jusqu'à 135°, sous la pression atmosphérique ordinaire, sans qu'il se manifestât aucun signe d'ébullition, montrant ainsi que la cohésion des molécules d'eau privée d'air est presque égale à la pression de trois atmosphères sur l'eau qui en renferme. Il résulte aussi des recherches de M. Donny une explication des éruptions violentes et intermittentes des geysers, car on conçoit que, si l'eau dépourvue d'air est exposée à une température assez élevée pour vaincre la force de cohésion des molécules, la production de la vapeur sera alors tellement rapide et si considérable, qu'elle pourra causer une explosion, laquelle se renouvellera chaque fois que l'eau atteindra son point maximum d'ébullition.

(1) L'aragonite étant, d'après M. G. Rose, un dépôt formé par une dissolution chaude de carbonate de chaux, la présence de cette substance peut indiquer *à priori* celle d'une source thermale ancienne ou moderne. Le carbonate de chaux rhomboédrique est déposé par les sources froides.

(*a*) M. Galy-Casalat avait aussi trouvé que si l'on chauffe de l'eau privée d'air et couverte d'huile, la température du liquide peut quelquefois s'élever à 123° sous la pression atmosphérique ordinaire ; mais que, si l'on dépasse ce point, il y a une vaporisation instantanée, et quelquefois rupture du vase. (Rapport de M. Hemptinne, *Bull. de l'Acad. de Bruxelles.* vol. XII, p. 387. 1845.)

M. Eugène Robert (1), à la suite de deux voyages qu'il a faits en Islande avec la commission scientifique de la corvette *la Recherche*, a décrit d'une manière fort intéressante les phénomènes des geysers. Il a complété ainsi ce que l'on devait déjà aux recherches de l'évêque von Troïl (1770), d'Olafsen et de Povelsen (1772), de Banks et de Solanders (1783), de Mackensie (1811) et de M. de Nidda, dont nous venons de parler.

Les premières eaux thermales que l'on rencontre en pénétrant dans les vastes champs de Skalholt, l'ancienne capitale de l'Islande, sont celles de Laugarvatn, situées au bord du petit lac de ce nom. Elles sourdent de plusieurs points, comme celles de Laugarnes, près de Reykiavik, auxquelles elles ressemblent beaucoup, et elles forment un ruisseau d'eau bouillante qui échauffe celle du lac à une assez grande distance de ses rives. Deux de ces sources, qui se sont formé un petit bassin, jaillissent par saccades jusqu'à $2^m,60$ et $3^m,30$ d'élévation. Le sol, entre les sources et le lac, est entièrement composé d'hydrate de silice savonneux qui paraît avoir été déposé anciennement. Aujourd'hui les eaux thermales abandonnent plus de soufre que de silice.

Les geysers occupent à peu près le centre d'un vaste dépôt siliceux qui règne au pied des montagnes, sur une longueur de 8 kilomètres et une largeur de 2. Ce dépôt constitue des collines à pentes douces qui atteignent jusqu'à 33 mètres de hauteur. Le sol est percé d'une multitude de trous, placés quelquefois au sommet de petits cônes formés de concrétions siliceuses altérées, et par où s'échappe de l'eau bouillante, ou bien seulement de la vapeur d'eau. Le plus grand nombre de ces cavités sont alignées de l'E. à l'O.; mais celles qui sont le plus éloignées forment entre elles un triangle isocèle.

Le *grand geyser* (ce nom signifie *fureur* en islandais) se trouve à peu près au centre de ce dépôt siliceux. Son bassin est en forme de cône surbaissé dont les pentes sont de 9°, et présente une cavité cratériforme percée au milieu par un canal cylindrique un peu évasé à sa partie supérieure. Le bassin est ordinairement rempli d'eau chaude qui s'échappe au dehors par plusieurs échancrures; mais après chaque ascension du geyser, il se vide souvent en entier

(1) *Bull.*, vol. VII, p. 5. 1836. — *Id.*, vol. XI, p. 338. 1840. — *Compt. rend.*, vol. XIII, p. 391. 1841. — *Voyage en Islande et au Groënland*, etc. Minéralogie et géologie, 1re partie, 1 vol. in-8. et atlas. Paris, 1840, p. 159.

Digitized by Google

et même jusqu'à 4 mètres de profondeur dans son canal. Ce phénomène n'a guère lieu qu'une fois en 24 heures, et les éruptions sont d'autant plus belles et plus rapprochées qu'il pleut davantage, ce qui confirme l'opinion de M. de Nidda rapportée plus haut, que les réservoirs qui alimentent les geysers proviennent de torrents, et que les eaux thermales n'ont aucune communication avec la mer, dont elles sont éloignées d'environ 15 lieues.

La température des parois du bassin est telle que celles-ci se dessèchent aussitôt qu'il est vide, et l'on peut y descendre alors avec sécurité.

A la profondeur de 20 mètres et à 1 mètre environ du fond présumé du trou, la température des eaux est de 124°; à 10 mètres, elle est de 104°; et à la surface du bassin, de 100°. Cette température extraordinaire, dit M. E. Robert (1), est due sans doute à la vapeur qui s'est accumulée dans le fond d'un réservoir en siphon, par suite de la pesanteur de la colonne d'eau qui, lorsqu'elle ne peut plus faire équilibre à la tension de la vapeur augmentant sans cesse, est projetée au dehors avec violence. Ce phénomène est pour ainsi dire une suite d'explosions, et, suivant l'état de l'atmosphère, les ascensions du grand geyser ont une durée plus ou moins longue, quoique en général celle-ci ne dépasse pas 5 minutes.

L'éruption s'annonce toujours par un frémissement du sol, accompagné d'un bruit sourd; puis l'eau monte dans le bassin, d'énormes bouillons se manifestent à sa surface en s'élevant à 0^m,66 ou 1 mètre de hauteur et quelquefois s'apaisent brusquement, et tout rentre dans le calme. C'est alors, continue l'auteur (2), une fausse éruption qui peut se reproduire deux ou trois fois de suite; mais quand le phénomène doit avoir lieu dans toute sa majesté, aux bouillons dont on vient de parler succèdent des jets qui s'élèvent de plus en plus jusqu'à 2 et 3 mètres environ, et, après quelques instants de repos, le geyser semble réunir toutes ses forces, et par un dernier jet étale dans les airs une immense gerbe dont l'épi le plus élevé atteint au moins 33 mètres au-dessus du bassin. Une masse énorme de vapeur plane ensuite quelque temps sur cette scène imposante. Le geyser, dont la fureur a cessé tout à coup, se remplit lentement et coule de nouveau comme une source ordinaire.

---

(1) *Bull.*, vol. XI, p. 340.
(2) *Ibid.*, p. 341.

Ces eaux sont inodores et sans saveur désagréable. Leur analyse a donné à MM. G. Barruel et A. Courcier un résidu de 0gr.,142 pour la quantité analysée, et qui serait pour un litre d'eau de 1gr.,1052, composé de :

	gr.
Silice.	0,47219
Chlorure de sodium. . . .	0,20438
Sulfate de soude.. . . . . Carbonate de soude. . . Alumine.	0,32419

D'après M. Black, 10,000 grammes d'eau du geyser renferment 10gr.,75 de résidu, dont :

Soude..	0,95
Alumine.	0,48
Silice..	5,40
Muriate de soude.	2,46
Sulfate de soude..	1,46
Total	10,75

Les concrétions siliceuses qui recouvrent les parois du bassin sont en forme de choux-fleurs, ou bien fibreuses, compactes ou encore feuilletées. Un temps très long paraît avoir été nécessaire pour la formation de ce bassin, car M. E. Robert a constaté, lors de son second voyage, que la paroi intérieure du bassin, qu'il avait entaillée l'année d'auparavant, n'avait été recouverte que d'une couche de 2 millimètres d'épaisseur, par une concrétion siliceuse d'une blancheur parfaite.

Le Strockur, ou *nouveau geyser*, est situé à 50 pas du précédent, et l'auteur décrit les alternances curieuses du jaillissement de ses eaux, provoquées artificiellement, soit en jetant des mottes de gazon, soit en tirant des coups de fusil dans le canal; puis il passe aux relations qui existent entre ses éruptions et celles du grand geyser, relations qui paraissent avoir échappé aux voyageurs qui l'avaient précédé.

Les dépôts des autres sources thermales des environs, qui ne jaillissent pas, sont à peu près les mêmes que ceux des geysers. La silice qui provient de ceux-ci est âpre au toucher; celle des sources de Laugarnes, près de Reykiavik, est à l'état gélatineux, et ne durcit que longtemps après. M. E. Robert signale des Lymnées vivant dans une eau qui se maintient à la température de 40°, et fait remarquer l'analogie des dépôts formés par les geysers avec les

Digitized by Google

meulières et le silex nectique. En outre, ces amas reposent, comme les meulières tertiaires, sur une argile bolaire de diverses couleurs, ce qui pourrait leur faire attribuer une origine commune, et la silice des meulières aurait été à l'état de gelée, sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir pour cela une haute température.

Le dépôt siliceux qui a envahi l'espace occupé par des bois de bouleaux renferme une grande quantité d'empreintes de feuilles et de bois silicifiés. Les montagnes de basanite, de phonolite et autres roches ignées fortement redressées, des deux côtés de l'espace occupé par les geysers, paraissent indiquer que ceux-ci sortent d'une fissure profonde, par où les eaux torrentielles se mettent en rapport avec le foyer volcanique, qui leur donne les propriétés dont elles jouissent. Portées ainsi à une haute température, ces eaux peuvent enlever aux roches en contact une certaine quantité de silice, et peut-être les dépôts argileux qui entourent les geysers représentent-ils l'alumine devenue libre dans ces roches altérées ou désagrégées par les eaux bouillantes.

Les geysers du nord de l'île, appelés Uxahver, occupent, comme ceux du sud, le fond d'une grande vallée de déchirement, bordée de chaque côté par des montagnes peu élevées. On compte trois de ces geysers, dont un seul élève ses eaux à 4 mètres au-dessus du sol. Leur température est de 101°. Tout autour se voient des concrétions siliceuses, comme dans les précédents, et l'*Uxahvérite*, substance rare qui se dépose sur des calcédoines ou sur des bois pétrifiés. Dans la partie orientale de l'Islande, du gaz acide sulfureux, des eaux bouillantes et bourbeuses, et des salses intermittentes, s'échappent du pied du Mannefiall. Les sources de Reykholt (1) jaillissent, par intermittences très rapprochées, à 1 mètre ou 1m,32 de hauteur. Le petit geyser appelé Skribla occupe un bassin assez large, un peu évasé, et formé de concrétions siliceuses, scoriformes, rougeâtres. La température de l'eau est de 100°. Ces sources, au nombre de 7 ou 8, semblent correspondre à une crevasse, par laquelle les eaux torrentielles communiqueraient avec un sol fortement échauffé.

MM. A. Descloizeaux et Bunsen (2) ont fait, en 1846, de nombreuses expériences sur les geysers, d'où il résulte que la température de la colonne d'eau qui remplit le puits central du grand geyser

---

(1) E. Robert, *Voyage en Islande*, etc., p. 145.
(2) *Compt. rend.*, vol. XXIII. p. 934. 1846.

Digitized by Google

varie continuellement dans toute sa hauteur, et qu'elle offre un maximum de 127° au fond du puits, avant les grandes éruptions, et un minimum de 122° environ, après ces mêmes éruptions. Depuis, M. Descloizeaux a publié des *Observations physiques et géologiques sur les principaux geysers d'Islande* (1), observations dans lesquelles se trouvent consignés tous les détails de ses expériences délicates, et quelques faits intéressants qui avaient échappé à ses prédécesseurs (2).

Enfin M. Damour (3), qui avait déjà présenté une analyse de l'eau du grand geyser, a donné depuis une notice plus complète sur la composition des autres sources chaudes de l'île (4). L'auteur représente d'abord comme il suit l'analyse des substances étrangères contenues dans un litre d'eau du grand geyser :

	gr.
Chlorure de sodium. . .	0,2638
Sulfate de magnésie. . .	0,0091
Sulfate potassique. . . .	0,0180
Sulfate sodique.	0,1343
Soude.	0,1227
Silice	0,5190
Acide carbonique. . . .	0,1520
Soufre.	0,0036
	1,2225

Après avoir indiqué les résultats fournis par l'examen de l'eau des sources Badstofa (Reykir), Hvergarden (Reykir), Store-hver (Reykir), et de Laugarnes, près Reykiavik, M. Damour rappelle et discute les analyses et les opinions publiées vers 1792 par le docteur Black, et que nous venons de rapporter. Il fait voir ensuite, au moyen d'expériences ingénieuses auxquelles il avait soumis de la mésotype, que certaines substances minérales, regardées comme insolubles, peuvent être décomposées et dissoutes en partie par la seule action de l'eau à

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 3e sér., vol. XIX. 1847. — *Bull.*, 2e sér., vol. IV, p. 550. — *Compt. rend.*, vol. XXIV, p. 456. 1847. — *Observations de M. Angelot*, *Bull.*, 2e sér., vol. IV, p. 554. — *Soc. philomatique*, 20 mars 1847.

(2) Voyez aussi : J. Hallgrimsson, *Sur le geyser et le Strockur en Islande* (*Tidssk. for naturvid.* de *Koeyer*, vol. II, p. 209-222, 265).

(3) *Acad. des sciences*, 4 mai 1846.

(4) *Ann. de chim. et de phys.*, 3e sér., vol. XIX. 1847. — *Compt. rend.*, vol. XXIV, p. 182. 1847. — *Bull.*, 2e sér., vol. IV, p. 542.

une température très modérée et sous la pression ordinaire, lorsque ces matières sont désagrégées et ont perdu leur état cristallin, et il est naturellement conduit à conclure que, dans les sources chaudes d'Islande, l'eau agissant à une température de plus de 120°, avec une pression considérable et pendant un temps indéfini, sur les roches trachytiques probablement désagrégées qu'elles traversent et pénètrent, doit dissoudre une certaine quantité des éléments qui les constituent, telles que la silice, l'alumine, la soude, la potasse, la magnésie et la chaux. Les expériences de M. J. Jeffrys, et celles de MM. Donny et Galy-Cazalat, que nous avons rapportées précédemment (*antè*, p. 441 *nota*), doivent donner un grand poids à cette manière d'expliquer la présence de ces substances, et en particulier de la silice.

Norwège. La composition de l'eau minérale de Eidsvold a été indiquée par M. Thaulow (1).

Angleterre. M. Daubeny a donné une analyse de la source minérale découverte près d'Oxford (2), et de celle de Tenbury, dans le Worcestershire (3). Cette dernière, qui sort du *red marl*, est remarquable en ce qu'elle contient du sel commun avec beaucoup de muriate de chaux, un peu de muriate de magnésie, des traces de sulfate de soude et d'iode, enfin une quantité notable de brome. M. W. West a publié un travail sur les eaux minérales du Yorkshire (4), et M. Mammatt s'est occupé des eaux salées et de la présence de sphérosidérites et d'argile réfractaire dans les houillères d'Ashby de la Zouch (5). M. Lankester a indiqué quelques particularités des eaux minérales d'Askern (6).

France septentrionale. Dans la *Statistique minéralogique et géologique des Ardennes* (7), MM. Sauvage et Buvignier ont signalé les sources minérales ferrugineuses de ce département.

---

(1) *Nyt. mag. for naturvid.*, vol. IV, p. 12 à 18. Christiania, 1843.

(2) *Proceed. geol. Soc. of London*, vol. II, p. 204. — *Transact. of* id., vol. V, p. 263.

(3) *Ashmolean Soc. of Oxford*, 1er juin 1840. — *The Athenæum*, 4 juillet 1840.

(4) *Rep. 14th Meet. brit. Assoc. at York*, 1844. — *L'Institut*, 13 nov. 1844.

(5) *Arch. f. min. de Karsten*, vol. VIII, p. 266-272. 1835.

(6) *An account of Askern*, etc. Sur Askern et ses sources minérales, etc. Londres, 1842.

(7) In-8, Mézières, 1842.

Digitized by Google

On doit à M. A. Teste une *Notice sur les eaux minérales de Bagnoles* (Orne) (1), et à M. O. Henry une *Analyse des eaux naturelles ferrugineuses de Forges-les-Eaux* (*Seine-Inférieure*) (2), qui avaient déjà été étudiées par M. de La Provostaye (3). France occidentale.

M. Salneuve a donné un *Essai sur les eaux minérales de Châteauneuf* (4), et M. Macaire, dans une *Note sur les environs de Vichy* (5), s'est occupé de la diminution de la température des eaux de cette localité, des variations dans la quantité du gaz acide carbonique dégagé suivant les circonstances atmosphériques, de l'abaissement de la température pendant les temps d'orage, etc. M. Ch. Petit (6) a aussi publié une brochure sur les eaux minérales alcalines de Vichy. M. Robiquet, dans ses *Réflexions sur les eaux thermales de Néris* (7), pense que le dégagement d'azote qu'on y observe provient de l'air atmosphérique dont l'oxygène est dissous dans l'eau, opinion qu'avait déjà émise Anglada, et que partage M. Daubeny, comme nous l'avons vu (*antè*, p. 438). Ces sources ne sont pas d'ailleurs alimentées par les pluies, car elles n'éprouvent pas de variations dans leur température, et celle-ci doit être attribuée à la chaleur interne du globe. France centrale.

M. Girardin (8) a fait voir que la composition de l'eau de la fontaine de St-Allyre, près de Clermont, et celle du travertin que cette source dépose, présentent d'assez grandes différences dans la proportion relative des substances qui leur sont communes, et qu'il en est de même pour les dépôts et les eaux de St-Nectaire et de Carlsbad. L'ancien dépôt des eaux de St-Allyre diffère aussi notablement du dépôt actuel par la quantité de quelques uns de ses principes constituants, car il y a dans le premier une beaucoup plus grande proportion de silice et de carbonate calcaire, et moins de peroxyde de fer que dans le second. Les eaux de St-Nectaire, de Vichy et

(1) In-8, Paris, 1846.
(2) In-8, Paris, Baillière, 1845?
(3) *Journ. de chimie médicale*, oct. 1842.
(4) Paris, 1835.
(5) *Soc. de phys. et d'hist. nat. de Genève*, 20 fév. 1840. — *L'Institut*, 12 mai 1840.
(6) Paris, 1843.
(7) *Acad. des sciences*, 17 août, 1835. — *L'Institut*, 19 août 1835.
(8) *Analyse chimique des eaux minérales de St-Allyre, près Clermont, et du travertin qu'elles déposent* (*Précis anal. des travaux de l'Acad. de Rouen*, 1836, p. 51. — *Ann. scient. de l'Auvergne*, vol. X, p. 121. 1837).

Digitized by Google

du Mont-Dore ne paraissent pas non plus avoir la même richesse minérale qu'autrefois, et leur composition diffère également de celle de l'époque où elles formaient les immenses couches siliceuses ou aragonitifères que l'on trouve dans le voisinage des lieux où elles sourdent. Cette diminution des principes salins et surtout celle de la silice dans les eaux minérales sont dues à une diminution correspondante dans le volume et la température des fontaines.

Les eaux minérales du département du Puy-de-Dôme, soit qu'elles sortent immédiatement du terrain primaire, soit qu'elles sourdent du calcaire lacustre, offrent, à peu de chose près, la même composition. Elles contiennent à la fois beaucoup d'acide carbonique et beaucoup de carbonate de chaux avec une proportion notable d'oxyde de fer, et elles produisent aujourd'hui en petit ce qu'elles ont produit en grand dans les périodes antérieures. Les sources qui s'échappent immédiatement du granite déposent de suite un travertin semblable à celui de St-Allyre. Quant à la température actuelle de cette dernière, elle est constamment de 24°, et ses eaux renferment plus de carbonate de chaux et de fer qu'aucune de celles du département. M. Lecoq, dans ses *Recherches sur les eaux thermales et sur le rôle qu'elles ont rempli à diverses époques géologiques* (1), a développé les conclusions précédentes, et s'est attaché à prouver la diminution des sources thermales, l'abaissement de leur température et la plus faible quantité de leurs produits actuels. Il a expliqué aussi la présence, à certaines époques, d'une très grande quantité d'acide carbonique dans l'atmosphère, par les dégagements de ce gaz qui avaient lieu lors de la formation du travertin ou des grands dépôts calcaires, qu'il regarde comme devant leur origine à des sources thermales.

M. C.-A. Bertrand, qui s'est occupé de la *Température des eaux thermales, et en particulier de celles du Mont-Dore* (2), a constaté que la température de deux de ces dernières n'avait pas sensiblement varié pendant l'année, et qu'elle n'avait pas non plus varié pour les autres, tant que l'air extérieur s'était maintenu au-dessus de zéro. Pendant les froids les plus rigoureux, elle a baissé de 1/4 de degré dans trois sources, et elle est remontée au point fixe ordinaire, dès que le temps s'est radouci. Dans une autre notice,

---

(1) In-8, Clermont, 1839. — Voyez aussi, du même auteur : *Chaudes-Aigues et ses sources thermales*, in-8. Clermont, 1836.

(2) *Compt. rend.*, vol. IV, p. 972. 1837.

Digitized by Google

le même chimiste a traité des eaux de Médague et de St-Allyre (1); et M. Dupasquier a décrit une nouvelle source d'eau minérale découverte à Vals (Ardèche) (2).

M. Longchamp (3) a fait connaître que les eaux thermales de Luxeuil (Haute-Saône) renferment la matière organique qui doit servir à la formation des infusoires que contient le fer limoneux. Cette matière, qui n'est point la barégine, constitue $\frac{1}{1000000}$ de l'eau, ou $\frac{1}{33}$ des substances solides qu'on y trouve. M. H. Hogard (4) a traité d'une manière plus générale des eaux minérales de la chaîne des Vosges, et M. Rozet (5) a constaté la présence de l'azote dans les sources thermales de Bourbon-Lancy. M. E. Gueymard (6) a réuni un grand nombre de faits relatifs aux eaux minérales et thermales du département de l'Isère. Cette partie de son beau travail répond complétement à l'intérêt que ce sujet pouvait offrir dans le pays qu'il a si bien exploré. M. V. Bally a publié aussi une *Note sur les eaux thermales de Lamotte-les-Bains, situées dans l'arrondissement de Grenoble* (7), et M. Arago (8) a indiqué les recherches à entreprendre pour découvrir la cause de la chaleur des eaux thermales de Sextius, à Aix en Provence. France orientale.

Les sources des Pyrénées ont été l'objet de recherches assez nombreuses. M. Longchamp (9) a conclu d'abord de celles qu'il a faites que les eaux minérales doivent leur origine aux eaux pluviales, et qu'en ayant égard à la quantité d'air que celles-ci tiennent en dissolution et à l'absence de l'oxygène dans les eaux minérales, il demeure démontré : 1° qu'à l'intérieur du globe les bases sont à l'état métallique et combinées avec du soufre ou du chlore; 2° que le sulfate de soude provient de la conversion du sulfure de sodium en sulfate par l'action de l'oxygène de l'air con- France méridionale. Pyrénées.

(1) *Ann. scient. de l'Auvergne*, vol. XV, p. 33. 1842.
(2) *Notice chimique*, etc. Lyon, 1845?
(3) *Acad. des sciences*, 1er avril 1836. — *Ann. des mines*, vol. XI, 3e sér., p. 462.
(4) *Descript. min. et géol. de la chaîne des Vosges*. 1837.
(5) *Bull.*, vol. IX, p. 226. 1838.
(6) *Statistique minér., géol. et métallurgique du dép. de l'Isère*, in-8, 7 pl. de coupes et cartes, p. 609-678. Grenoble, 1844.
(7) In-18, Paris 1844.
(8) *Compt. rend.*, vol. I, p. 445. 1835.
(9) *Mém. sur les eaux minérales des Pyrénées*, in-8. 1835 (*Ann. des mines*, 3e sér., vol. VII, p. 504. 1835. — *Acad. des sciences*, 30 juillet 1834. — *L'Institut*, 2 août 1834).

Digitized by Google

tenu dans l'eau. Quant au silicium, il se convertit en silice par la décomposition de l'eau. La barégine résulterait de la combinaison de la matière végétale avec l'azote des eaux pluviales, combinaison opérée sous l'action d'une forte pression et d'une haute température (1). L'azote s'est constamment présenté dans les gaz qui se dégagent des eaux minérales, mais jamais en aussi grande quantité que dans l'air atmosphérique. Enfin, M. Longchamp pense que, sous la chaîne des Pyrénées, l'intérieur du globe doit être composé d'une masse métallique non oxydée, comme J. Davy l'avait déjà indiqué.

M. James D. Forbes (2) a confirmé l'opinion émise par M. Daubeny sur la relation qui existe entre la position des sources thermales et les fissures ou lignes de soulèvement. La connexion de la sortie des sources thermales avec le voisinage des granites est constante. Le nombre des sources s'accroît à mesure que l'on s'avance vers l'E. et leur température est en même temps plus élevée. Dans cette partie de la chaîne, les roches granitiques tendent à prédominer, et presque toujours les eaux sortent à la jonction du granite et des roches stratifiées. Telles sont celles des Eaux-Chaudes, de Cauterets, de Bagnères-de-Luchon, de Lez, d'Aulus, d'Ax, de Las Escaladas, de Dorres et d'Arles. Les sources des Eaux-Bonnes, de Bagnères-de-Bigorre, de St-Sauveur, de Baréges, de Caudiac et d'Ussat sortent de roches stratifiées, disloquées dans le voisinage immédiat du granite qu'elles recouvrent. Même lorsque les eaux sourdent en très grande quantité du centre des montagnes granitiques, comme près d'Olette dans la vallée de la Têt, un lambeau de roche stratifiée se montre au contact du granite, et toutes les sources thermales des Pyrénées sont soumises à cette loi.

On admettait généralement que la quantité d'hydrosulfure contenue dans les eaux thermales dépendait de leur température, ce que M. Fontan avait admis aussi, comme nous l'avons dit ci-dessus; mais M. Forbes a trouvé que des eaux sulfureuses froides

---

(1) Voyez un mémoire de M. Turpin, intitulé: *Étude microscopique comparée de la Barégine*, etc. (*Mém. de l'Acad. roy. des sciences*, vol. XV, p. 355).

(2) *On the temperature*, etc. Sur la température et les rapports géologiques de certaines sources chaudes, particulièrement celles des Pyrénées, et sur la vérification du thermomètre (*Philos. Transact.*, part. II, p. 571. 1836. — *Bibl. univ. de Genève*, vol. III, 2e sér., p. 369. — *Bull.*, vol. VIII, p. 250).

Digitized by Google

existent à une distance de quelques mètres seulement d'eaux chaudes à une haute température et dont la composition est presque identique. Ainsi, aux Eaux-Bonnes, une source froide sort à 200 mètres de la principale source chaude du lieu ; ses propriétés médicales sont semblables et elle renferme même plus de sulfure. A Las Escaladas, sur le versant espagnol, la même circonstance se présente. Si l'on ajoute à ces faits que des sources, dont la composition est tout à fait différente, sortent presqu'au même point avec des températures de 160 à 180° F., comme à Ax et à Thuez, on sera forcé d'admettre, dit l'auteur, que l'origine de la minéralisation sur une grande étendue doit être indépendante de l'élévation de la température, et que les raisons sur lesquelles on s'appuie, pour juger de l'origine des sources thermales d'après leur composition chimique, doivent être jusqu'à un certain point sans fondement.

Après avoir décrit les thermomètres qu'il a employés dans ses expériences, M. J. Forbes expose les résultats obtenus dans l'examen des principales sources thermales des Pyrénées (Eaux-Chaudes, Eaux-Bonnes, Cauterets, St-Sauveur, Baréges, Caudiac, Bagnères-de-Luchon, Lez, Aulus, Ussat, Ax, Las Escaladas, Dorres, Thuez, le Vernet et les Bains-d'Arles), puis de celles d'un certain nombre d'autres parties de l'Europe. Dans chaque localité, il a étudié avec soin la position géologique de la source, ses caractères particuliers, ses propriétés et sa température.

M. N. Boubée a publié une *Notice sur les sources thermales de Bagnères-de-Luchon* (1); M. Séguier (2), quelques observations sur la même localité, et M. A. Fontan, des *Recherches sur les eaux minérales des Pyrénées* (3). Sur plus de 100 sources observées par ce dernier, la plupart sont des sources sulfureuses et pas une seule n'est acidule. Les autres résultats obtenus par ce chimiste ont été mentionnés précédemment. M. Legrand (4) a constaté que les sources thermales d'Arles et du Mont-Dore n'avaient point éprouvé depuis 80 ans de diminution sensible dans leur température. Les exceptions, s'il en existe, seraient des cas particuliers

(1) *Compt. rend.*, vol. II, p. 534. 1836.
(2) *Ibid.*, vol. III, p. 604. 1836.
(3) *Ibid.*, vol. IV, p. 855. 1837.
(4) *Nouvelles remarques sur la température de plusieurs sources des Pyrénées orientales* (*Compt. rend.*, vol. II, p. 286. 1836. — *Acad. des sciences*, 2 mars 1835. — *L'Institut*, 11 mars 1835).

Digitized by Google

ou des erreurs d'observation. Enfin, M. Durocher (1) a reproduit les principales conclusions émises par ses prédécesseurs sur la position qu'occupent les diverses sources minérales et thermales des Pyrénées.

Nous terminerons cet exposé des observations faites en France en indiquant la distribution et la classification générale des sources minérales connues dans le royaume en 1844, et consignées dans le *Compte rendu des travaux des ingénieurs des mines* pendant cette même année (2).

Sur 864 sources énumérées dans le tableau ci-après, 756 se rattachent directement aux divers systèmes de montagnes composés de roches cristallines, ignées et volcaniques, ou de roches sédimentaires disloquées par les soulèvements; 108 appartiennent aux pays de plaines, ou sourdent de roches sédimentaires en place et non modifiées. Celles-ci ont la température des sources ordinaires et ne tiennent guère en dissolution que des principes ferrugineux. Elles sont en général le résultat de la réaction des eaux pluviales sur les roches voisines de la surface.

Les sources des pays de montagnes présentent deux subdivisions principales, dont l'une comprend les sources nombreuses, résultant aussi d'une action toute superficielle des eaux pluviales, et qui sont identiques à celles des pays de plaines; et l'autre, les eaux qui paraissent acquérir pour la plupart leurs qualités particulières à des profondeurs assez considérables au-dessous de la surface du sol. Celles-ci contiennent une grande proportion de principes minéraux qui ne sont pas exclusivement ferrugineux.

Considérées dans leur ensemble, les eaux minérales de la France peuvent être divisées en trois catégories, relativement à leur importance thérapeutique : 1° sources thermales; 2° sources froides, non exclusivement ferrugineuses; 3° sources froides, exclusivement ferrugineuses. Par rapport à leur position géographique, elles peuvent être rattachées à sept régions principales, comme dans le tableau ci-après. Il en existe en outre beaucoup d'autres qui, à cause de leurs propriétés peu prononcées, n'ont pas été l'objet d'une attention particulière, et, dans certains pays, comme les Pyrénées et les montagnes du centre de la France, les sources

(1) *Essai sur la classification du terrain de transition des Pyrénées* (*Ann. des mines*, 4ᵉ sér., vol. VI, p. 103).

(2) In-4°, Paris, 1845. *Résumé des travaux statistiques*, p. 18.

Digitized by Google

à propriétés énergiques sont si multipliées, que l'on n'a pas intérêt à constater la présence de toutes celles qui peuvent exister.

DÉSIGNATION DES GROUPES DE SOURCES MINÉRALES.	Sources thermales.	Sources froides, non exclusivement ferrugineuses.	Sources froides, exclusivement ferrugineuses.	TOTAUX partiels.	TOTAUX généraux.
1. Système des Pyrénées.	248	36	14	298	756
2. — des montagnes du centre de la France.	143	115	7	265	
3. — des Vosges.	46	28	4	78	
4. — des montagnes du nord-ouest.	1	3	60	64	
5. — des Alpes, de la Corse et du Jura.	32	13	»	45	
6. — des Ardennes et du Hainaut.	4	»	2	6	
7. Sources éparses dans les pays de plaines et particulièrement dans le bassin géologique de Paris.	»	23	85	108	108
Totaux.	474	218	172	864	864

Ce résumé est suivi du tableau général et détaillé des sources, rangées par département. Suisse.

Nous ne connaissons que les titres des publications suivantes :

DE FELLENBERG. — *Analyse des eaux minérales d'Otteleue, canton de Berne* (*Bibl. univ. de Genève*, vol. XXVII, p. 154. 1840).

— *Analyse de l'eau minérale de Wissenburg* (*canton de Berne*), in-8. Lauzanne.

CH. STÆHELIN. — *Recherches sur les eaux minérales de Meltingen, Eptingen et Bubendorf* (*N. denksch. d. Allg. Schweiz. ges. f. d. ges. naturwiss.*, vol. II. Neuchâtel, 1838).

P. BOLLEQ. — *Analyse de l'eau amère de Birmenstorf, en Argovie* (*Ann. der Chem. u. Pharm.* de *Liebig*, vol. XLV, p. 318-325. 1843).

C. CASSELMANN. — *Analyse de l'eau minérale de Tarasp et de Fideris* (*Grisons*) (*Ibid.*, vol. LI, p. 111-123. 1844).

PAGENSTECHER. — *Sur les sources et les eaux de Berne et de ses environs* (*Mittheilung d. naturforsch. ges. in Bern.*, avec tableau, 1844. p. 145-167).

C. LOEWIG. — *Die mineral Quellen*, etc. Description chimique et

Digitized by Google

physque des eaux minérales (thermo-sulfureuses) de Baden (Argovie), in-8, Zurich, 1837.

C. LOEWIG. — *Über Bestandtheile*, etc. Sur les parties constituantes et l'origine des sources minérales, in-8. Zurich, 1837.

BUCHNER fils. — *Recherches chimiques sur les eaux minérales renfermant de l'iode, de Wildegg, Argovie* (*l'Institut*, 26 nov. 1845).

ROBERT. — *Notice sur les eaux minérales de Wildegg*, in-8. 1846.

P. MORIN. — *Analyse de l'eau minérale de Loèche, source Saint-Laurent* (*Soc. de phys. et d'hist. nat. de Genève*, avril 1845. — *Bibl. univ. de Genève*, vol. LVI, p. 363. 1845).

Savoie. M. J. Bonjean, dans un travail très complet sur les eaux minérales d'Aix (1), classe ces eaux dans quatre divisions, relativement à leurs propriétés médicales : 1° sources sulfureuses thermales ; 2° sources thermales, dites d'*alun ;* 3° sources sulfureuses froides ; 4° sources ferrugineuses froides. La source de soufre est la plus importante, tant par son usage médical que par les divers phénomènes auxquels elle donne naissance. L'ingrédient sulfureux s'y trouve à l'état libre, tandis que la plupart des eaux sulfureuses connues sont minéralisées par un sulfure ou un sulfhydrate.

Par suite de ses recherches, l'auteur est arrivé à démontrer (p. 282) que l'acide sulfhydrique répandu dans l'air humide, à l'état de gaz, se convertit en totalité en eau et en acide sulfurique, sans dépôt de soufre ni formation préalable d'acide sulfureux, et que l'acidification a lieu à l'air et sans l'intermédiaire des bases ; tandis qu'au contraire, lorsque ce gaz est en dissolution dans l'eau, il se décompose au contact de l'air, en déposant du soufre. De plus, si l'on expose différents métaux à la vapeur des eaux de soufre, on remarque qu'au milieu même d'un grand excès d'air humide ces métaux s'emparent du soufre de l'acide sulfhydrique, et empêchent la combustion de ce métalloïde par l'oxygène. Ainsi les sulfates de fer et de cuivre, qui se produisent dans l'établissement des bains, proviennent de la transformation du sulfure en sulfate, et non de l'action immédiate de l'acide sulfurique, comme on le pensait. Cette source renferme aussi un iodure, et une assez grande quantité de glairine se forme au contact de l'air. Lorsque cette eau est

(1) *Analyse chimique des eaux minérales d'Aix en Savoie*, in-8. Chambéry, 1838. — Voyez aussi : *Bull.*, 2e sér., vol. I, p. 751. 1844.

Digitized by Google

altérée par celles qui proviennent des pluies ou des fontes de neige, la glairine est remplacée par une substance analogue à la glairidine.

J.-M. SOCQUET. — *Essai sur les eaux minérales de la Perrière, près Moutiers, en Tarentaise*, in-8, 1 pl. Paris, 1824.

Le Chev. ORSI. — *Documents historiques sur les eaux thermales du hameau de Bains, en Tarentaise*, in-8, 1 pl. Moutiers, 1836.

DOMENGET. — *Aperçu sur les eaux minérales de Challes, en Savoie*, in-8. Chambéry, 1841.

J. BONJEAN. — *Recherches chimiques*, etc. Sur les eaux de Challes, en Savoie, in-8. Chambéry, 1843.

C. DESPINE. — *Manuel topographique médical de l'étranger aux eaux d'Aix, en Savoie*, in-8, 2 pl. Annecy, 1843.

Nous n'indiquerons également que les titres des publications suivantes, dont les unes n'offrent qu'un intérêt purement local, et dont les autres ne nous sont qu'imparfaitement connues. Italie septentrionale.

L. BALARDINI. — *Delle acque salino-termali*, etc. Des eaux thermales du Masino dans la Valteline, in-4. Sondrio, 1835. — Voyez une analyse de cet ouvrage (*Bibl. italiana*, n° 235, p. 108. 1835).

— *Prospetto delle acque minerali*, etc. Coup d'œil sur les eaux minérales du royaume Lombardo-Vénitien (*Bibl. italiana*, n° 244, p. 126. 1836).

— *Sulle fonte minerali e termali della Valtelina*, in-8. Come, 1838.

T.-A. CATULLO. — *Memoria geologica sopra le acque termali*, etc. Mém. géologique sur les eaux thermales du territoire de Padoue, etc., Padoue, 1836. — Voyez aussi une analyse de ce travail (*Bibl. ital.*, n° 252, p. 287. 1836). — *Nuovi saggi dell' Accad. di Padova*, vol. IV. 1836. — *Trattato sopra la costituzione*, etc. Traité sur la constitution des provinces Vénitiennes, etc., p. 252.

RAGAZZINI. — *Nuove ricerche fisico-chimiche*, etc. Nouvelles recherches physico-chimiques et analyses des eaux thermales euganéennes. Padoue, 1844.

DA RIO. — *Orittologia euganea*, etc. Oryctologie euganéenne. Padoue, 1836. Pour quelques observations relatives aux eaux thermales des monts Euganéens.

Digitized by Google

Toscane. G. GIULI. — *Storia naturale*, etc. Histoire naturelle de toutes les eaux minérales de la Toscane, etc., 6 vol. in-8. Florence et Sienne, 1833-1835. — Voyez une analyse de cet ouvrage (*Bibl. ital.*, n° 245, p. 313. 1836).

Royaume de Naples. DAUBENY. — *On the site of new thermal spring*, etc. Sur la situation de la nouvelle source thermale découverte près de la ville de *Torre dell' Annunziata*, dans la baie de Naples, avec quelques remarques sur le gaz qui se dégageait de de cette source et d'autres en relation avec les volcans de la Campanie (*Proceed. geol. Soc. of London*, vol. II, p. 177. 1835).

CHEVALLEY DE RIVAZ. — *Description des eaux minérales et thermales, et des étuves de l'ile d'Ischia*, 2ᵉ édit., avec carte. Naples, 1834. — Voyez une analyse de cet ouvrage (*Bibl. ital.*, n° 244, 1836).

SEMENTINI, VULPES et CASSOLA. — *Analyse des propriétés médicinales des eaux minérales de Castellamare*, trad. de l'italien par M. E. Chevalley de Rivaz, in-8. Naples, 1834. — Voyez un résumé de ce travail (*Bibl. ital.*, n° 244. 1836).

Sicile. GAETANO DE GAETANI. — *Sopra l'acqua minerale*, etc. Sur l'eau minérale sulfureuse du puits de *Santa Venera* (*Atti dell' Accad. gioe. di Catania*, vol. XVI, p. 21. 1841).

Allemagne. Bords du Rhin et États voisins. A.-F. SPEYER. — *Deutschland's vorzüglichste mineral Quellen*, etc. Les sources minérales principales de l'Allemagne classées et coordonnées en tableaux, d'après leurs propriétés physiques, chimiques et thérapeutiques, in-8. Hanau, 1834.

ED. STANLEY. — *On Ripoldson*, etc. Sur Ripoldson (Forêt-Noire) et ses eaux minérales (*Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXIII, p. 171. 1837).

F.-A. WALCHNER. — *Darstellung*, etc. Exposé des rapports géologiques des eaux minérales sourdant au bord septentrional de la Forêt-Noire, avec une description des rapports naturels de l'eau minérale découverte à Rothenfels, près de Bade, in-8, avec plan et dessins. Manheim, 1843.

J. BOEGNER. — *Die Entstehung des Quellen*, etc. L'origine des sources et la formation des sources minérales, suivie d'un rapport sur la source thermale trouvée récemment près de Assmannshausen, et une autre source froide reconnue près de Weilbach, in-8. Francfort-sur-le-Mein. 1843.

Digitized by Google

FRESENIUS et WILL. — *Analyse de l'eau chaude de Assmannshausen* (*Ann. d. chem. u. pharm.* de *Liebig*, vol. XLVII, p. 198-211. 1843).

— *Analyse de l'eau minérale de Salzschlief* (*Silésie*) (*Ibid.*, vol. LII, p. 76-81. 1844).

E. RAHT. — *Notes géologiques et topographiques sur les eaux de Geilnau* (*Ann. d. chem. u. pharm.* de *Liebig*, vol. XLIII, p. 76-97. 1842).

S.-F. STIEBEL. — *Soden et ses sources minérales*, in-8, avec une planche. Francfort-sur-le-Mein, 1840.

JUNZ. — *Analyse des eaux minérales acidules et salines de Neuenhain* (*Nassau*) (*Journ. f. prakt. chem.* de *Erdmann*, vol. IV, p. 90).

BUNSEN. — *Sur les eaux thermales de Nanheim* (*Stud. d. Goettingen v. bergm. f.*, 1841, vol. IV, c. 3, p. 361-365).

FABIAN. — *Sur les sources salées de Salze* (*Arch. f. min.* de *Karsten*, vol. VIII, p. 52-102. 1835).

C.-TH. MENKE. — *Geog. und oryktog.*, etc. Description géognostique et oryctognostique de la principauté de Pyrmont, et exposé de ses sources minérales, 2e édit., in-8, avec carte géol. Pyrmont, 1840.

E. RIEGL. — *Analyse de plusieurs sources minérales dans le cercle de St-Wendel* (*Verhandlungen der naturf.* etc. Mém. de la Soc. d'hist. nat. du pays Rhénan prussien, par Macquart, 1re année, p. 52. Bonn, 1844).

H. WILL et FRESENIUS. — *Analyse de l'eau de Ludwigsbrunn à Homburg vor der Hoehe* (*Ann. d. chem. u. pharm.* de *Liebig*, vol. XLV, p. 349. 1843).

LIEBIG. — *Analyse de l'eau de Neufrunnen à Homburg vor der Hoehe* (ses *Ann. d. chem. u. pharm.*, vol. XLIII, p. 145-157. 1842).

E.-C. TRAPP. — *Homburg und seine Heilquellen.* Darmstadt, 1837.

F. MULLER. — *Erfahrung über den Gebrauch und die Wirksamkeit der Heilquellen zu Homburg.* Francfort-sur-le-Mein, 1840.

F.-L. FEIST. — *Ueber die Heilquellen von Homburg vor der Hoehe.* Mayence, 1842.

F.-W. PAULI. — *Homburg vor der Hoehe und seine Heilquellen.* Francfort, 1842.

Digitized by Google

A. DOWNIE. — *The spaa's of Homburg*. Francfort, 1842.

TRAPP. — *Mémoire sur les eaux minérales de Hombourg-ès-Monts* (*Gazette médicale de Paris*, n° 28. 1843).

FRANCIS COYHLAN. — *A picture of Homburg und its environs*. Londres, 1844.

V. STOEBER. — *Notice sur les eaux minérales de Hombourg, près Francfort-sur-le-Mein*, in-8. Strasbourg, 1844. Cette dernière notice traite des diverses sources de cette localité, de leur composition, de leur emploi dans les diverses maladies, et donne une description succincte de la ville, de ses établissements et de ses environs.

SCHWARZENBERG. — *Gîtes de quelques eaux acidules dans la basse Hesse* (*Isis*, 1840, p. 399-400).

O. PFANKUCH. — *Analyse des eaux salées de Rodenberg* (*Ann. d. chem. u. pharm.* de *Liebig*, vol. XLI, p. 162-169. 1842).

— *Analyse de l'eau amère de Friedrichshalb, au sud de Meiningen* (*Journ. f. prakt. chem.* de *Erdmann*, vol. XXXI, p. 182-185. 1844).

F. DREVES et A. WIGGERS. — *Les eaux minérales de Wildungen, près de Goettingen*, in-8. Goettingen, 1836.

G. BISCHOF. — *Sur les rapports des sources du Teutoburgerwald sur sa pente orientale* (*Journ. f. prakt. chem.* de *Erdmann*, vol. I, p. 321). Ces sources, particulièrement acidules et salines et quelques unes hydrosulfureuses, sortent de la base des montagnes secondaires.

Prusse. G. BISCHOF. — *Les sources et le puits salés de la saline de Dürrenberg, près Merseburg* (*Schrift d. in St-Pétersburg gestift. Russ. k. ges. f. d. ges. Mineralogy*, vol. I, p. 169-192. 1842).

STREIT. — *Die mineral Quellen*, etc. Les eaux minérales des bains de Hohenstein, 1834, avec l'analyse de l'eau acidule saline, par Doebereiner (*Neu. Jahrb.*, 1835, p. 705).

REICHEL. — *Analyse de l'eau saline de Hohenstein* (*Schoenburg*) (*Journ. f. prakt. chem.* de *Erdmann*, vol. IV, p. 324).

F. SIMON. — *Analyse de l'eau minérale de Gleissen* (*Id.*, vol. XIX, p. 376-386. 1840).

C. STEINBERG. — *Analyse de l'eau minérale de Schoenebeck* (*Id.*, vol. XXV, p. 388-391. 1841).

WARRENTRAPP. — *Analyse de l'eau minérale de Driburg* (*Ann. d. pharm. u. chem.* de *Liebig*, vol. XLIX, p. 231).

Digitized by Google

MARCHAND. — *Analyse des eaux minérales de Lauchstatt* (*Id.*, vol. XXXII, p. 463-472. 1844).

C.-A. et KOCH. — *Geognost.*, *statist. Beschreibung*, etc. Description géogn. et statistique du Wurtemberg, in-8, avec carte. Stuttgard, 1837. Wurtemberg.

BRAUN. — *Sur les sources sortant de différents terrains autour de Bayreuth* (*Arch. d. chem.* de *Kastner*, vol. VIII, p. 225-257. 1834). Bavière.

J.-D. FORBES. — *Notice sur la source salée de Kissingen* (*Rep.* 8th *Meet. brit. Assoc.* — *L'Institut*, 11 juillet 1839. — *Soc. roy. d'Edimbourg*, 7 janvier 1839. — *L'Institut*, 10 oct. 1839. — *Edinb. phil. Journ.*, avril 1839. — *Bibl. univ. de Genève*, vol. XXI, p. 130). Les eaux contiennent 3 pour 100 de sel, et s'élèvent d'une profondeur de 325 pieds (bavarois) par un puits foré dans le grès bigarré. La température ne s'abaisse jamais au-dessous de 18°,33, la moyenne des sources voisines étant 10° ou 11°,11. La source dégage une très grande quantité d'acide carbonique presque pur, qui maintient l'eau du bassin dans un état d'ébullition violente. L'eau évaporée pour le sel est aussi employée pour les bains. 30 pouces 1/2 de gaz acide carbonique sont combinés avec 1 livre d'eau, dont la composition est assez semblable à celle de l'eau de mer.

Le dégagement de gaz cesse cinq ou six fois par jour; l'eau baisse dans le réservoir pendant 15 à 20 minutes, puis remonte peu à peu, et le dégagement du gaz recommence pour durer trois ou quatre heures. Ces phénomènes se reproduisent avec peu de variations depuis 1822, époque à laquelle le puits a été foré. A peu de distance, un autre puits de 554 pieds de profondeur présente des circonstances presque semblables. M. Forbes suppose que ces eaux et celles qui sourdent sur la rive gauche de la Saal sont dues à une ligne de crevasses, et que le gaz acide carbonique a son origine dans le voisinage du foyer éteint du Rhoengebirge. Il est probable d'ailleurs que la pression du gaz, agissant d'une manière analogue à ce qui se passe dans la fontaine de Héron, a la plus grande part dans la production de l'intermittence.

OSANN. — *Sur les sources salées de Kissingen, changeant de niveau périodiquement* (*Neu. Jahrb.*, 1837, p. 245).

Digitized by Google

CH. KAPP. — *Sur Kissingen et ses sources salées périodiques* (*Ibid.*, 1841, p. 76-83). L'auteur rapporte l'origine de ces sources aux masses basaltiques et phonolitiques du Rhoengebirge, quoiqu'elles sortent du trias, et il explique leurs variations en supposant une caverne souterraine qui communique avec la surface par une fente en siphon, et placée à une certaine hauteur dans ce réservoir.

J. WETZLER. — *Die iod und brom*, etc. Source à iode et à brome d'Adelheid, à Heilbrunn, dans la Bavière supérieure, 4e édit., in-12. 1843.

VOGEL jun. — *Sur l'existence du nitrate de soude dans la source de Bronnenthal, près de Munich* (*Journ. f. prakt. chem.* de *Erdmann*, vol. XXXIII, p. 398-402. 1844).

— *Nitrate de soude dans l'eau minérale de Braunthal* (*Munchn. gel. anz.*, 1844, p. 369-372).

Bohême. A. KABLICK. — *Analyse de l'eau saline de Johannisbad* (*Beitr. z. ges. nat. u. Heil wiss.*, par Weitenwerber, vol. II, p. 119).

CH. KAPP. — *La région des sources minérales de Marienbad, surtout par rapport à Carlsbad* (*Neu. Jahrb.*, 1840, p. 379). L'auteur, après avoir comparé l'aspect des deux vallées, traite de l'origine des sources de Marienbad et de leur distribution, puis des roches et de l'époque ancienne de la formation des montagnes.

COTTA. — *Sur la serpentine d'Einsiedel*, etc. (*cercle d'Elbogen*), *et le granite entre Carlsbad et Marienbad, en rapport, d'après M. de Buch, avec les sources acidules du pays* (*Neu. Jahrb.*, 1838, p. 529).

Styrie. FROEHLICH. — *Der Sauerbrunnen*, etc. La source acidule de Rohitsch, in-8. Vienne, 1838.

A. SCHROETTER. — *Rapports physiques et chimiques des eaux de Rohitsch* (*Ann. d. chem. u. pharm.* de *Liebig*, vol. XXXIX, p. 217-227. 1841).

Gallicie. TOROSIEWICZ. — *Analyse de l'eau hydro-sulfureuse acidule et saline de Jurowce* (*Neu. Jahrb.*, 1838, p. 44).

— *Analyse de l'eau salée de Truskauriec* (*Ibid.*, 1839, p. 424-426).

Russie. R. HERMANN — *Source minérale découverte à Moscou* (*Journ. f. prakt. chem.* de *Erdmann*, vol. XXV, p. 206-209. 1842).

Digitized by Google

D'après M. Boué (1), à qui la géologie de la Turquie d'Europe doit de si grands progrès, les eaux thermales y existeraient partout, excepté dans la Bulgarie et l'Albanie. Elles sont alignées du N. au S., ou sur le pied des chaînes, au centre de la Turquie, et en relation alors avec les trachytes. Dans la Bosnie, elles sont alignées du S.-E. au N.-O. Dans le centre de la Turquie, une zone de roches ignées courant E.-O. est aussi accompagnée de sources chaudes. Ces systèmes de sources se prolongent d'ailleurs à l'E., dans l'Asie mineure, et à l'O., dans la Hongrie, l'Illyrie, la Styrie et l'Autriche. Ces sources sont remarquables par l'uniformité de leur composition chimique. Toutes les eaux chaudes, plus ou moins hydro-sulfureuses, ont des températures cependant assez différentes, et variant entre 32 et 58°. Quelques unes d'entre elles ont déposé beaucoup de tuf calcaire. Les sources de Novibazar, de Sophie, de Kostendil, d'Aidos, de Vasilika et de la Samothrace, sont celles qui contiennent le plus d'hydrogène sulfuré. Des Ulves et des Conferves végètent dans les bassins d'eau chaude de la Tondja, et à Ilidga, près de Sérajévo. Les sources acidules froides ne sont guère connues que dans la Servie et la Bosnie, sortant de la formation crétacée et des schistes micacés et talqueux. Enfin M. Boué termine l'énumération des nombreuses sources qu'il a observées par celles qui sont ferrugineuses, salées et muriatifères. Turquie d'Europe.

M. Grisebach (2) a donné aussi beaucoup de détails sur les sources de la Roumélie et de l'Anatolie. A l'ouest de Broussa, entre les alluvions de la plaine et le gneiss de l'Olympe, il y a cinq sources thermales, dont les eaux ont formé autrefois un dépôt de calcaire tufacé qui s'étend depuis les bains jusqu'à la ville. Aucune source froide ne sort de terre dans le voisinage des eaux chaudes.

M. Landerer (3) a publié une *Description des eaux minérales de la Grèce*; et dans l'île d'Eubée, d'après M. Russegger (4), des sources chaudes sortent des serpentines alternant avec des calcaires, Grèce.

---

(1) *La Turquie d'Europe*, 4 vol. in-8. Paris, 1840, vol. I, p. 380-391. — *Esquisse géol. de la Turquie d'Europe*, in-8. Paris, 1840, p. 162.

(2) *Reisen durch Rumelien und nach Brussa*, 2 vol. in-8. Gœttingen, 1841. — Voyez aussi : *Bull.*, vol. XIII, p. 142. 1842.

(3) *Beschreibung der Heilquellen griechensland*, in-8. Nuremberg, 1843.

(4) *Neu. Jahrb.*, 6e cah. 1839, 1er et 2e 1840. — *Bull.*, vol. XII, p. 200.

Digitized by Google

près de Lypso, et elles déposent du carbonate de chaux, de manière à former une petite chaîne de collines composées de tuf ou de travertin. Suivant un autre voyageur, l'île de Nisyros renferme un *cratère-lac* rempli d'eau sulfureuse; et des sources chaudes hydrosulfureuses sortent du pied des montagnes volcaniques anciennes de l'île de Cos (1). Le comte de Cigalla a aussi donné une courte notice sur les eaux minérales et thermales de Santorin (2).

Asie occidentale. Chaîne du Caucase. Palestine.

Les sources thermales de Machouka et du Bechetau, près de Petigorsk, ont été mentionnées par M. Dubois de Montpéreux (3).

MM. C.-G. Gmelin et W. Eggel ont donné l'analyse des eaux thermales d'Ammans, près de la mer de Galilée (4). Ces bains d'Emmaüs, situés sur la rive droite du lac de Tibériade, sont très sulfureux, et leur température est de 52° R. (5).

Perse.

M. R. Hamilton, dans son esquisse géologique du bassin situé entre le Tigre et l'Euphrate (6) a signalé les eaux thermales des environs de Mossoul, et l'on sait qu'il en existe dans la partie supérieure du cours de l'Oxus (7). Le Démavend et ses sources thermales ont été décrits par M. Eichwald (8).

Arabie.

M. Hibbert a fait des observations sur celles de Maculla (9), et M. Botta a donné des détails sur la côte de la presqu'île du Sinaï. On y trouve une masse de calcaire coquillier peu ancien d'où jaillit la source chaude sulfureuse d'Hamman-Mousa ou Bain-de-Moïse (10).

Asie centrale.

Le lac d'Issikoul, sur le versant nord des montagnes Célestes (Thian-chan), doit sa dénomination de *mer Chaude* aux sources

---

(1) *Bull.*, 2e sér., vol. I, p. 168. 1844.

(2) *Brevi cenni sulle acque minerali*, etc. (*Actes de l'Acad. des sciences de Sienne*, vol. X).

(3) *Voyage autour du Caucase*, etc. vol. IV. — Voyez aussi : *Neu. Jahrb.*, 1844, p. 368.

(4) In-8. Tubingen, 1839.

(5) *Bibl. univ. de Genève*, vol. LVI, p. 94. 1845. — *Amer. Journ.*, vol. XLVIII, n° 1.

(6) *Soc. Wern. of Edinburgh*, 3 avril 1841. — *Bibl. univ. de Genève*, vol. XXXVI, p. 418. — *Ann. des sc. géol.* vol. I, p. 101.

(7) *Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXXI, p. 194.

(8) *Neu. Jahrb.*, 1840, p. 94. — Voyez aussi : *Lettres sur l'état des choses et des événements en Turquie de* 1835 *à* 1839, par de Moltke, in-8. Berlin, 1841.

(9) *Edinb. new phil. Magaz.*, vol. XXIV, p. 30. 1838.

(10) *Arch. du Muséum d'hist. nat.*, vol. II, p. 82. — *Bull. de la Soc. de géographie*, vol. XII, p. 369.

Digitized by Google

thermales qui jaillissent dans son bassin et élèvent la température de ses eaux. Les sources chaudes d'Arachan sont à 10 lieues au nord-ouest du volcan de Péchan. Le sel ammoniac se recueille à 22 lieues au nord-ouest du mont Kholak, puis au sud des rives de l'Ili, non loin de l'Alatau qui renferme les sources thermales de Soussak. Il existe aussi des sources semblables aux environs du lac d'Ala-koul et autour du lac Baïkal, telles que celles de l'Orkhan. Plus au nord, le prétendu volcan signalé par Strahlenberg, à 3 degrés seulement des côtes de la mer glaciale, et qui se trouve dans le méridien du lac Baïkal, ne serait, d'aprèsM. Erman, que des fumeroles dégageant de l'ammoniaque (1).

Au pied des Ghates, les eaux chaudes sourdent du trapp par de nombreuses crevasses (2). A Kair et à Urjunah, dit M. Malcolmson (3), on trouve des sources à une température de 30°,50, chargées d'acide carbonique et sortant des roches calcaires. D'autres renferment du muriate de soude, du sulfate de chaux en petite quantité, mais beaucoup de carbonate. Celles dont la température atteint 110 à 140° F. contiennent des sulfures hydrogénés, des sulfates et des muriates de soude et de chaux. M. Duncan a donné aussi quelques détails sur les sources thermales dans le Konkun (4). Inde.

M. Fresenius a publié l'analyse de deux eaux minérales de Java (5). M. de Lamarche a décrit les sources thermales des environs de Manille (6), et l'on sait que le centre de l'île circulaire de St-Paul est occupé par la mer qui y pénètre par un canal étroit, et dont l'eau atteint sur certains points la température de 100° C. Archipel de l'Inde.

Les sources thermales de la Mauritanie, très connues et même fort employées sous la domination romaine, sont restées lontemps dans un profond oubli, d'où l'établissement des Français les ont fait sortir depuis 1830. Elles sont surtout remarquables par leurs produits dont nous parlerons plus loin. Afrique septentrionale.

(1) De Humboldt, *Asie centrale*, vol. II, p. 78.

(2) W.-H. Sykes, *On a portion of Dukhun*, etc. (*Transact. geol. Soc. of London*, vol. IV, p. 409. 1836).

(3) *On the fossils of the eastern portion*, etc. (*Ibid.*, vol. V, p. 537).

(4) *Transact. medic. and phys. Soc. of Bombay*, vol. I, p. 257.

(5) *Ann. d. chem. u. pharm.* de *Liebig*, vol. XLV, p. 308-318. 1843.

(6) *Bull. de la Soc. de géographie*, vol. XIX, p. 79. 1842.

Digitized by Google

« A trois kilomètres au-dessus de M'jez-Amar, dit M. Niel (1), » la Seybouse reçoit une source chaude nommée Hammam-Mascoutin (*Bains-Maudits*) ; on y trouve beaucoup de ruines qui » annoncent que les Romains avaient formé sur ce point un vaste » établissement, ce qui ne doit pas étonner, car la nature y pré- » sente un de ses plus beaux phénomènes.

» Des eaux abondantes sortent de terre, à une température de » 76° R. Elles répandent une odeur de soufre, et sont chargées de car- » bonate de chaux. Dès qu'elles se sont fait une issue en perçant le » sol, elles déposent autour d'elles le calcaire dont elles sont sur- » chargées, et forment ainsi une vaste chaudière dans laquelle on les » voit bouillir, et dont les bords s'élèvent constamment par de nou- » veaux dépôts. Il se forme ainsi un cône qui atteint jusqu'à 25 et » même 30 pieds de hauteur. L'eau ne pouvant pas s'élever davan- » tage est forcée de chercher une autre issue et de former un nou- » veau cône, ce qui fait qu'il en existe une multitude. Presque » toute la source s'est réunie sur un seul point, d'où elle retombe » par une suite de belles cascades sur les gradins qu'elle a déposés » autour d'elle. »

D'après Boblaye (2), ces eaux sourdent de grès ferrugineux et de marnes à fucoïdes; aucune roche d'origine ignée ne se montre dans le voisinage ; et les phénomènes actuels remontent à l'origine du dépôt tufacé. La barégine, d'une teinte ocreuse, forme un enduit de $0^{m},01$ sur les flancs des cônes d'Hammam-Mascoutin, inclinés de 20 à 30°. La température de la source ne serait que de 60 à 70° C. Ces eaux font d'ailleurs partie d'une zone de sources thermales qui s'étend, des environs de Sétif par Constantine, jusqu'à Hammam-Breda et même jusqu'à la Calle, et cette ligne suit la direction E.-N.-E. de la chaîne, l'une des fractures les plus récentes du nord de l'Afrique.

MM. Guyon (3), Tripier (4), Combes (5) et Sédillot (6) se sont aussi occupés de ces sources, dont la température ne paraît pas être encore bien déterminée, car M. Guyon l'a trouvée de 78° R.,

(1) *Bull.*, vol. XI, p 129, pl. I, fig. 15-16. 1840.
(2) *Ibid.*, p. 130. — *Compt. rend.*, vol. VII, p. 239. 1838.
(3) *Ann. de phys. et de chim.*, vol. LXXI, p. 223. — *Compt. rend.*, vol. VIII, 7 janv. 1839.
(4) *Ann. de phys. et de chim.*, 3e sér., vol. I, p. 340. 1841.
(5) *Compt. rend.*, vol. XIV, p. 334. 1842.
(6) *Ibid.*, vol. V. p. 555. 1837.

Digitized by Google

M. Niel de 76° R. et Boblaye de 60 à 70° C. seulement. M. Tripier (1) a fait connaître en outre que les eaux d'Hammam-Breda et d'Hammam-Mascoutin (ou Hammes-Kontin) renfermaient de l'arsenic, découverte confirmée depuis par MM. Ossian Henry et Chevalier.

M. Renou (2) cite encore, parmi les nombreuses sources thermales de l'Algérie, celles de l'Adisa à 40 kilomètres au sud-est de la Calle. Elles sont fort abondantes et leur température est très élevée. A l'est de la même ville, sur la frontière de la province de Tunis, se trouvent des eaux vitrioliques dont la température est de 30 à 38°. Il faut encore mentionner les eaux chaudes de la Chiffa, au sud-ouest de la Calle, celles de Hamman-Melouen, au sud d'Alger, enfin celles qui se voient à 1,500 mètres d'Oran, sur la route de Mers-el-Kbir, et qui, contenant des chlorures de sodium et de magnésium, ont une température de 40°.

On doit à M. Rochet d'Héricourt, qui a fait deux voyages en Abyssinie, dans le pays d'Adel et le royaume de Choa, l'indication des sources thermales très nombreuses de Toujoussa dans le Choa. Leur température varie de 50° à celle de l'eau bouillante. A Fine-Fini, 20 lieues à l'ouest d'Ankobar, l'eau qui s'élève par grands jets, comme dans les geysers d'Islande, a une température de 80° R. (3). Afrique orientale.

M. R. W. Townsend a communiqué à l'Association britannique, en 1843 (4), ses observations sur les sources thermales des environs du cap de Bonne-Espérance, sources dont la température est d'environ 40° et qui déposent une grande quantité de manganèse. D'après M. Noeggerath, cette substance serait un hydrate d'oxyde de manganèse (5). M. Fréd. Krauss (6) a signalé, plus à l'est, des sources minérales froides et d'autres qui sont thermales. Les premières sont temporaires ou pérennales. Les eaux chaudes se trouvent toutes au pied de la chaîne du Grooten-Zwart-Berge, entre Breede et le Camtoos, où elles sourdent du grès bigarré qui recou- Afrique méridionale.

---

(1) *Journ. de chimie médic.*, vol. VI, 2e sér., p. 278. 1840. — *Ibid.*, vol. I, 3e sér., p. 413. 1845. — *Compt. rend.*, vol. XXIII, p. 682. 1846.

(2) *Ann. des mines*, 4e sér., vol. IV, p. 534.

(3) *Compt. rend.*, vol. XII, p. 732. 1841.

(4) *Rep. 13th Meet. brit. Assoc. at Cork*, 1843. — *L'Institut*, 14 février 1844.

(5) *Arch. f. miner.* de *Karsten*, vol. XVIII, p. 537. 1844.

(6) *Neu. Jahrb.*, 1843, p. 150-164.

Digitized by Google

vre des granwackes et des schistes argileux, sans indice de roches ignées. Il en existe aussi sur le bord occidental de la rivière d'Olifant qui sont acidules, en partie ferrugineuses, et renferment quelques sels (sulfate et hydrochlorate de soude). Près de Uitenhage se trouvent des eaux minérales ferrugineuses froides, dans des cavités en entonnoirs placées sur la limite du grès vert de Koega; des sources sulfureuses se montrent encore dans les districts de Graff-Reinett et de Somerset.

Archipel des Açores.

M. Jackson a donné une analyse des eaux minérales des îles Açores (1), et M. Hochstetter un examen chimique de quelques dépôts des sources de ces mêmes îles (2).

Amérique du Nord. Groënland.

On trouve, dans la relation du voyage du capitaine Graah, que les sources thermales d'Ounartok, à l'angle nord-est du Groënland, sont au nombre de trois. Leur température est de 31°,5, 33°,9 et 40 à 42° C. Elles déposent un sédiment siliceux ou calcaire comme les geysers et le Strockur d'Islande (3).

États Unis.

M. Daubeny, dans son *Esquisse géologique de l'Amérique du Nord* (4), a donné (p. 62) des détails sur les sources thermales des États-Unis (Lebanon, Ballston et Saratoga, Virginie, Caroline du Nord et Arkansas), et il a fait remarquer le peu de fréquence de ces sources dans cette partie du globe, eu égard à son étendue, de même que la rareté des eaux acidules et carbonées, en rapport avec celle des tremblements de terre, avec la régularité des formations et l'absence presque complète de roches trappéennes sur une grande portion du continent. Cependant l'existence de quelques unes de ces sources au milieu des Alleghany, et même ailleurs, semble prouver que les agents volcaniques, quoique faibles, se trouvent encore sous certains points de la chaîne. Il y a d'ailleurs dans ce pays les mêmes rapports entre les phénomènes des sources thermales, relativement à la composition des gaz qu'elles renferment et à leur position dans le voisinage des roches soulevées, et

(1) *Bibl. univ. de Genève*, 2ᵉ sér., vol. VIII, p. 197. — *Amer. Journ.*, 1836.

(2) *Journ. f. prakt. chem.* de *Erdmann*, vol. XXV, p. 375-377. 1842.

(3) *Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXXI, p. 194.

(4) *Sketch*, etc. Oxford, 1839. — Voyez aussi : *Rep.* 8ᵗʰ *Meet. brit. Assoc. at Newcastle*, 1838, vol. VII, p. 91. — *Journal of a tour*, etc. Journal d'un voyage à travers les États-Unis et le Canada en 1837 et 1838, in-8. Oxford, 1843.

Digitized by Google

ceux qui ont été signalés pour les eaux minérales et thermales de l'Europe.

M. W.-W. Mather (1) a décrit les sources intermittentes de Châteaugay qui sortent d'un sable blanc et sont assez abondantes pour faire tourner un moulin. Elles coulent depuis le mois d'avril jusqu'au mois de septembre, puis s'arrêtent complétement et régulièrement chaque année, de septembre à avril. L'eau est froide et il s'en dégage des bulles d'azote. État de New-York.

Les sources salées de l'État de New-York, dit M. L. Beck (2), s'étendent du comté d'Otségo à ceux d'Orléans et de Genesee, sur une longueur de 170 milles de l'E. à l'O. et sur une largeur de 8 du N. au S.; mais ce n'est que sur le bord du lac Onondaga que les exploitations ont lieu en grand. Jusqu'à présent on n'y a point trouvé d'iode, mais tous les autres éléments existent dans l'eau de mer, quoiqu'en proportions un peu différentes. Des moules de forme cubique, observés dans certains bancs de roches salifères, avaient fait penser à M. Eaton que la salure de ces mêmes bancs et des eaux qui les traversent résultait de la dissolution du sel cristallisé dans l'origine; mais la présence d'une petite quantité de muriate de soude pouvait, en cristallisant, suffire pour produire cet effet sur les substances sédimentaires environnantes, et M. Beck croit que c'est la dissolution d'un banc de sel gemme qui produit la salure des eaux que l'on extrait actuellement.

Des cavités ou enfoncements se manifestent à la surface du sol, dans le voisinage des salines. On les nomme *sink holes*, comme en Angleterre dans le Cheshire et le Worcestershire. Ils paraissent résulter de vides produits dans les couches salifères par la dissolution du sel qu'elles renferment. D'après M. Rogers (3), les eaux salées auraient ramené de petits cristaux de sel qui prouveraient l'existence de cette substance en roche.

Autour du lac Onondaga, les quatre puits de Salina, de Syracuse, de Geddes et de Liverpool fournissent des eaux salées. En 1829, les États-Unis produisaient 3,804,229 boisseaux de sel,

(1) *First annual report*, etc. Premier rapport annuel du 1er district géol., p. 122, in-8. Albany 1837.

(2) *State of New-York*, etc. Communication du gouverneur dans l'assemblée du 20 février 1838; rapport de M. Beck, p. 13. — Voyez aussi la *Minéralogie de l'État de New-York*, par le même, in-4, 1844.

(3) *Report of Virginia*, 1836.

Digitized by Google

sur lesquels les sources d'Onondaga avaient fourni 1,291,220 boisseaux. En 1835, ces dernières ont donné 2,222,694 boisseaux, et en supposant que la production ait été la même dans les autres États, les salines des bords de l'Onondaga fourniraient encore à elles seules plus du quart de la production totale des autres États réunis. Celui de New-York renferme en outre des eaux acidules minérales, sulfureuses, fort abondantes, et des sources qui déposent du carbonate de chaux.

Maryland. Des sources minérales et thermales sont indiquées, par MM. J. Ducatel et J.-H. Alexander (1), comme très nombreuses dans la quatrième division géologique de l'État de Maryland.

Pennsylvanie. A Pittsbourg, un forage, poussé à travers le terrain houiller jusqu'à 188 mètres pour la recherche du sel, a donné lieu à une fontaine intermittente décrite par M. E.-G. Edrington (2). Toutes les trois semaines, l'eau s'élance à 10 ou 12 mètres de hauteur, avec un grand dégagement de gaz inflammable, à l'accumulation duquel le phénomène est probablement dû. Celui-ci ne paraît différer des puits de Kissingen, dont nous avons parlé plus haut (*antè*, p. 462), que par le terrain traversé et la nature du gaz qui se dégage.

Virginie. M. W.-B. Rogers, dans son *Mémoire sur la relation des sources thermales de la Virginie avec les axes anticlinaux et les failles* (3), a d'abord rappelé qu'en Europe, Whitehurst, dans sa théorie de la terre, Stifft, d'après l'examen des sources du duché de Nassau, Hoffmann, d'après celles de Pyrmont, MM. Conybeare et Buckland, d'après celles de Bristol, MM. Lyell et Murchison, d'après celles d'Aix, et M. J.-D. Forbes, d'après celles des Pyrénées, avaient établi le rapport des sources thermales avec les dislocations du sol. Gardner, dans son *Traité des sources minérales et thermales*, M. Daubeny, dans le grand travail que nous avons analysé ci-dessus, enfin M. G. Bischof, ont également reconnu cette même connexion.

Aux États-Unis, continue M. Rogers, les sources thermales

---

(1) *Report on a projected geol. surv.*, etc. Rapport sur un projet d'exploration géol. et topogr. de l'Etat de Maryland (*Amer. Journ.*, vol. XXVII, p. 1. 1834).

(2) *Amer. Journ.*, avril 1845. — *Bibl. univ. de Genève*, vol. LX, p. 170. 1845.

(3) *On the connexion*, etc. (*Transact. Assoc. amer. Geol.*, in-8. Philadelphie, 1843). — *Third ann. Meet. Assoc. amer. Geol.*, etc. Troisième réunion annuelle des géologues américains (*Amer. Journ.*, vol. XLIII, p. 151. 1842).

Digitized by Google

sont moins nombreuses et ont une température moins élevée qu'en Europe. Elles sont cependant assez fréquentes le long des axes de la chaîne des Apalaches en Virginie ; elles y occupent certaines positions déterminées, et les rapports de ces faits avec la géologie du pays, comme avec l'hypothèse d'une température élevée à l'intérieur du globe, sont parfaitement constants.

Des 56 sources thermales examinées dans la bande des Apalaches de l'État de Virginie, 46 sont placées sur, ou près des lignes anticlinales ; 7 sur, ou près des lignes de failles, et 3 à la jonction des roches de transition de la chaîne avec les roches *hypogènes* ou primaires. Leur température s'élève au-dessus de la moyenne du lieu, depuis 2° jusqu'à 60° F., et les plus chaudes sont généralement celles qui sortent des formations les plus basses. Les canaux souterrains qui fournissent l'eau et l'air aux profondeurs de la terre, et par lesquels les eaux thermales sont soulevées au moyen de la pression hydrostatique, doivent avoir une direction conforme à celle des couches, et la direction des eaux qui s'enfoncent dans le sol est en partie déterminée par le plongement de ces mêmes couches. La présence de l'azote résulterait d'une portion d'air décomposée par l'action du minerai de fer et par celle des calcaires.

Dans tout le système des Apalaches, il y a absence presque complète de roches ignées ou volcaniques. Les quatre ou cinq localités où elles ont été signalées n'ont aucun rapport avec les axes de soulèvement et sont éloignées des sources thermales connues. Ces roches réunies n'occuperaient pas une surface de plus de 10 acres ; aussi M. Rogers pense-t-il qua la température des eaux intérieures n'est pas élevée seulement sur quelques points, mais dans toute la masse indistinctement, et que si les eaux ne sourdent que suivant les axes, c'est uniquement parce que sur ces lignes les conditions mécaniques favorisent l'accès de l'eau et de l'air dans les profondeurs du sol, et par conséquent l'élévation de la température des premières et leur expulsion au dehors.

Dans un *Rapport géologique sur l'examen fait en* 1834 *du pays situé entre le Missouri et la rivière Rouge* (*Red river*) (1), M. Featherstonhaugh a décrit les sources chaudes de la Washita. Elles sont placées entre deux chaînes de montagnes formées de grès rapportés à l'*Old red Sandstone*, et les eaux coulent sur la grauwacke schisteuse que surmontent ces grès. D'autres sources Arkansas.

(1) in-8. Washington, 1835.

Digitized by Google

qui s'échappent des grès eux-mêmes sont plus ou moins abondantes. Un dépôt de tuf calcaire s'est formé sur divers points, et recouvre la base des collines. Les eaux ont une température de 146° F.; elles sont très limpides à leur sortie, mais aussitôt au contact de l'air extérieur le dépôt calcaire se précipite et encroûte les corps environnants. D'après M. Daubeny (1), la température de ces diverses sources serait assez différente de celle que nous venons d'indiquer et comprise entre 118° et 148° F. Elles contiennent très peu de substances minérales, et les bulles de gaz qui s'en dégagent sont composées de 4 p. 100 d'acide carbonique, 92,4 d'azote et 7,6 d'oxygène. Le travertin, déposé anciennement par les sources, est d'une couleur et d'un aspect différents de celui qui se forme aujourd'hui. Le premier, d'une teinte foncée, contient une certaine quantité de fer; le second, tout-à-fait blanc, est exclusivement composé de carbonate de chaux.

Montagnes Rocheuses.

Plus à l'ouest encore, on sait que les sources thermales sont très répandues des deux côtés de la chaîne complexe des Montagnes Rocheuses et dans le district volcanique de la rivière de Colombia. Leur température varie de 32 à 100° C. Elles déposent des sédiments terreux quelquefois d'une nature siliceuse, durs et d'un blanc pur; d'autres fois c'est une substance qui devient pulvérulente par la dessiccation. Dans la région volcanique, quelques sources sont acidules, et beaucoup sont sulfureuses (2).

Le capitaine J.-C. Frémont, lors de ses explorations à travers les Montagnes Rocheuses (3), visita (p. 136), sur les bords de la rivière Bear, les *Sources de Bière* (*Beer Springs*), d'où s'échappent des gaz acides qui déterminent des bouillonnements à la surface de l'eau. Dans l'une de ces sources, l'eau s'élève par jets, à divers intervalles, et ces éruptions sont accompagnées d'un bruit souterrain semblable à celui d'un bâtiment à vapeur qui est en marche. Cette source s'est formé un bassin revêtu d'un dépôt de carbonate de chaux coloré en rouge clair par de l'oxyde de fer, et renfermant en outre un peu de carbonate de magnésie, de la silice et de l'alumine. A deux

(1) *Sketch of the geol. of N. America*, p. 69.

(2) H.-D. Rogers, *Some facts*, etc. Faits divers sur la géologie des parties centrales et occidentales de l'Amérique du Nord (*Proceed. geol. Soc. of London*, vol. II, p. 103)

(3) *Report of the exploring Expedition*, etc. Rapport de l'expédition d'exploration des Montagnes Rocheuses, en 1842, in-8, avec cartes, plans et vues. Washington, 1845.

Digitized by Google

mètres de distance du jet d'eau est un trou de 1 pouce de diamètre seulement, et par lequel s'échappent, à des intervalles égaux, des bouffées d'air chaud accompagnées d'un tourbillon de fumée et d'un bruit régulier. Cet air, dont la nature n'a point été déterminée, donne, quand on le respire, des espèces de vertiges et des nausées aux personnes les plus robustes.

Les sources de Bière ou de Soude sont à 1780 mètres au-dessus de la mer, et les sources bouillantes (*boiling Springs*), au pied du sommet de Pike, sont à 150 mètres plus haut. Leur température est seulement de 56°, 87° et 81°,5 F., et elles renferment du sulfate de magnésie, du sulfate de chaux, des carbonates de l'une et de l'autre de ces terres, et des chlorures de calcium, de sodium et de magnésium. Elles sont situées par 42° 35′ 57″ latit. N. et 111° 46′ longit. O.

A 7 milles du ruisseau Clear (p. 150), on rencontre 10 ou 12 sources chaudes très chargées de matières salines, et dont la température est de 132°,5 et 136° F. Elles déposent dans le lit du ruisseau une matière terreuse rouge, composée principalement de carbonate de chaux et de peroxyde de fer, avec un peu de carbonate de magnésie, de sulfate de chaux, de chlorure de sodium, de silice et d'alumine. Sur un autre point, M. Frémont cite encore (p. 170) des sources thermales dont la température est de 164° F., ayant la même saveur désagréable que les précédentes et encroûtant les roches environnantes d'un dépôt composé principalement de silice (72,55 p. 100), de carbonate (14,60 p. 100) et d'oxyde de fer (4,65 p. 100). Toutes ces sources minérales, thermales et gazeuses se trouvent dans le voisinage de roches trappéennes.

Les sources salées sont en très grand nombre dans les Andes, dit M. Boussingault (1), et elles paraissent être indépendantes des terrains, se montrant à la fois dans les roches les plus anciennes comme dans les dépôts les plus récents. Leur origine daterait du soulèvement de la chaîne. Dans les salines de Guaca, près de Medellin, l'eau sort d'une syénite micacée. Dans le district de Vega de Supia, c'est d'une syénite porphyrique avec des filons disséminés. M. Degenhardt a aussi donné une description des sources salées de la province d'Antioquia et des formations des environs de Medellin dans la Nouvelle-Grenade (2).

Amérique du Sud. Nouvelle Grenade.

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, vol. LIV, p. 163.
(2) *Arch. f. miner.* de *Karsten*, vol. XII, p. 3-13. 1838.

Digitized by Google

Plus récemment, le même voyageur a découvert une source minérale acide sortant du trachyte du Paramo de Ruiz, à une élévation de 3,800 mètres et avec une température de 69°,4. 1000 parties de cette eau ont donné à M. Boussingault 6,062 d'acides, dont 5,180 d'acide sulfurique et 0,881 d'acide chlorhydrique, c'est-à-dire trois fois autant que l'eau du Rio-Vinagre ou Passambio, qui descend du volcan de Puracé. Le savant académicien, en évaluant le volume de l'eau du Rio-Vinagre, dans laquelle il avait trouvé 2,02 d'acides, dont 1,11 d'acide sulfurique et 0,91 d'acide chlorhydrique, fait voir qu'au mois d'avril 1831, le Passambio débitait par 24 heures 34,784^{m},64 cubes d'eau entraînant 38,611 kilogr. d'acide sulfurique et 31,654 kilogr. d'acide chlorhydrique. Telle est, dit-il, l'énorme quantité de soufre et de chlore émise chaque jour par quelques issues seulement du volcan de Puracé, et sans tenir compte des vapeurs abondantes d'acide sulfhydrique qui se dégagent constamment du cratère. Il existe aussi des eaux fortement acidulées au volcan de Pasto, mais jusque dans ces derniers temps on ne connaissait que les eaux du Rio-Vinagre qui eussent la propriété de contenir ces deux acides à l'état libre (1).

Chili. A *Puente del Inca*, dans la Cordillère du Chili, sur le passage d'Uspallata, il y a quelques sources thermales qui émettent beaucoup de gaz et renferment du sel commun, du gypse, du carbonate de chaux et de l'oxyde de fer, puis de l'acide carbonique, de l'acide sulfureux et de l'hydrogène sulfuré. Ces eaux laissent déposer beaucoup de tuf sous forme de concrétions sphériques. Comme celles de Cauquènes et probablement de Villa, elles sourdent suivant une ligne de soulèvement (2)

Nouvelle Zéelande. M. Em. Dieffenbach (3) a fait connaître, sur les bords du lac de Taupo, le plus grand de ceux que l'on observe dans la Nouvelle-Zéelande, où les agents volcaniques sont encore en activité, beaucoup de sources thermales s'échappant de dessous une faible épaisseur de pumite blanche, friable. On trouve, dans le voisinage, tantôt

---

(1) *Compt. rend.*, vol. XXIV, p. 397. 1847. — Voyez aussi une analyse des mêmes eaux par M. Lewy, *Ibid.*, p. 449.

(2) Brand, *Travels*, etc., p. 240. — Darwin, *Geological observations on south America*, p. 189, *nota*.

(3) *Travels in new Zealand*, etc. Voyage dans la Nouvelle-Zéelande, avec des détails sur la géographie, la géologie, la botanique et l'histoire naturelle, 2 vol. Londres, 1843. Voyez aussi : *The Athenæum*, 11 fév. 1843. — *L'Institut*, 23 mars 1843.

une terre jaunâtre avec du soufre ou du sulfate de fer, tantôt avec de la calcédoine, soit formée, soit se déposant encore. Près de l'une de ces sources se remarquent des agglomérations de silice qui augmentent et s'accroissent en forme de champignons (1). Au milieu du lac Rotu-Mahana ou *Lac chaud*, entouré de collines verdoyantes, on apperçoit plusieurs îlots, nus, ou recouverts de broussailles et d'arbrisseaux, entre lesquels la vapeur s'élève par une centaine d'ouvertures et sans altérer la fraîcheur du feuillage. Sur le côté opposé, une rampe naturelle, formée de larges gradins, est parcourue par une cascade d'eau bouillante qui se précipite dans le lac. Ce dernier, dont la température est de 35°, reçoit aussi les eaux chaudes d'un marais placé à 30 mètres au-dessus de son niveau. Sur ses bords plusieurs ouvertures laissent dégager de la fumée.

Un autre lac, celui de Roturna, est également entouré de sources thermales. Dans le bassin de plusieurs de ces sources, s'élève, toutes les cinq minutes, une colonne d'eau et de vapeur qui atteint 1 mètre à 1m30 au-dessus du sol. Il se forme autour un dépôt que l'auteur compare à du jaspe tantôt tendre et friable comme de la craie, tantôt constituant du jaspe-porcelaine ou magnésite. Les eaux employées par les naturels aux usages domestiques sont presque sans saveur, claires, et ont une température qui dépasse celle de l'eau bouillante.

A la pointe Savu-Savu des îles Feejees, dans l'Océanie orientale, Océanie.
on trouve un grand nombre de sources thermales dont la température varie de 200 à 210° F. (108 à 113° C.). Elles occupent un bassin de 13 à 14 mètres de diamètre, entre une colline et la baie. Le sol qui les entoure est un limon noir. Les eaux ont une faible odeur de soufre et une saveur salée (2). Dans une relation de l'expédition scientifique américaine (3) on trouve les détails suivants sur ce même point. Toute la plage est couverte de vapeurs d'eau chaude qui se font jour au travers du sable et du gravier. 5 sources, situées à 3 mètres au-dessus de la haute mer, se réunissent dans un bassin commun. Près de ce dernier, coule un ruisseau d'eau froide, de manière que l'on peut plonger en même temps l'une des mains dans une eau à 19° R. et l'autre dans celle des sources

(1) Analyse de ces dépôts siliceux, par M. R. Pattison (*L'Institut*, 12 fév. 1845, p. 67).
(2) *L'Institut*, 9 avril, 1845, p. 140.
(3) *The Athenæum*, nos 909, 910. — *Bibl. univ. de Genève*, vol. LVI, p. 278. 1845.

qui atteint 79° R. Au-dessous du bassin, les eaux chaudes forment un ruisseau dont la température, d'abord de 50° R., diminue ensuite vers la mer. L'eau des sources s'élève à $0^m,50$ au-dessus du niveau du bassin, et ces jets ont un diamètre de $0^m,65$.

§ 3. Sur l'origine des sources minérales et thermales.

Après le rapport de M. Daubeny, par l'examen duquel nous avons commencé ce chapitre, et où se trouvent résumées à peu près toutes les questions théoriques relatives au sujet qui nous occupe, il ne nous reste plus qu'à parler d'un travail non moins remarquable, dû à M. G. Bischof, et qui a été couronné par la Société des sciences de Harlem. Ce que nous en dirons est extrait du nouveau journal philosophique d'Édimbourg (1), et nous y joindrons quelques unes des observations que le même savant a données à ce sujet dans son *Histoire naturelle des volcans et des tremblements de terre* (2).

M. Bischof examine d'abord les circonstances dans lesquelles se présentent les sources thermales, ainsi que leur fréquence ; puis il indique la température d'un grand nombre d'entre elles, sortant, soit des couches secondaires les plus récentes, soit des couches sédimentaires anciennes, ou enfin des roches volcaniques. On rencontre ces eaux, dit-il, depuis un niveau inférieur à celui de la mer jusqu'à 4,000 mètres d'altitude, et sous tous les parallèles, depuis l'Islande et le Groënland jusque sous l'équateur. Ainsi la cause de la chaleur des sources n'est point particulière à certaines roches ni le résultat de phénomènes locaux, mais elle doit exister partout à l'intérieur du globe.

Nous voyons en effet que M. de Humboldt (3) cite les sources les plus chaudes comme étant très éloignées de toute espèce d'action volcanique. Celles d'*Aguas calientes de las Trincheras*, dans l'Amérique du Sud, entre Porto Cabello et Nueva Valencia, sortent du granite et ont une température de 90°,3 ; les *Aguas de Comangillas*, près de Guanaxato, au Mexique, sortent du basalte

(1) *On the temperature*, etc. Sur la cause de la température des eaux thermales et sur ses rapports avec la question générale de la température de la terre (*Edinb. new phil. Journ.*, vol. XX, p. 329).

(2) *Edinb. new phil. Journ.* 1839. — *Amer. Journ.*, vol. XXXVII, p. 53. 1839.

(3) *Cosmos*, traduct. française, vol I, p. 249.

Digitized by Google

et sont à 96°,4. D'après ce que l'on sait de l'accroissement de température dans le sol, les couches d'où ces eaux proviennent devraient être à 2,200 mètres de profondeur. Les sources permanentes les plus chaudes paraissent être en même temps les plus pures ou les moins chargées de matières minérales en dissolution; mais leur température ne serait pas aussi constante que celle des sources où elle ne dépasse pas 50 à 74°.

M. Bischof confirme l'hypothèse de M. de Buch sur la formation d'eau acidule, au moyen de l'absorption du gaz acide carbonique par l'eau, sous une certaine pression, et l'élévation de température, très faible à la vérité, qui accompagne ce phénomène. Passant ensuite aux conditions mêmes de l'absorption, de la quantité du gaz et de la profondeur à laquelle l'action peut avoir lieu, il conclut que les eaux acidules sont formées près de la surface, où des courants d'eau et d'acide carbonique viennent à se trouver en contact. Les eaux des puits artésiens, qui ont une température bien au-dessus de celles du lieu, et qui contiennent aussi quelquefois une plus grande proportion d'acide carbonique, doivent faire assigner une autre cause à la température élevée des sources.

L'accroissement de température ne peut être dû à l'oxydation des métaux alcalins par l'eau, comme l'a proposé M. de Buch, et l'hypothèse de M. Boussingault, que les sources chaudes qui sortent du granite le long des Cordillères sont le résultat de l'action de l'eau sur le sulfure de silicium, n'est pas plus admissible, suivant M. Bischof. La formation des sources minérales, attribuée à la décomposition de l'eau par les métaux alcalins, est également contredite par ce fait, qu'il en résulterait des courants de gaz hydrogène sortant avec l'eau, ce qui n'a pas lieu. L'opinion qui suppose le noyau de la terre formé de substances non oxydées ne peut s'accorder non plus avec la densité proportionnelle de la terre. Les observations que nous avons rapportées, comme ayant été faites par M. J.-D. Forbes dans les Pyrénées, seraient également contraires à la manière de voir de M. Daubeny; car il en résulte que la cause de la minéralisation des eaux doit être, sur une grande étendue, indépendante de la haute température que présentent quelques unes d'entre elles. Leur composition dépend des roches, soit ignées, soit sédimentaires, qu'elles traversent. Les sources seraient d'autant plus froides qu'elles sont plus éloignées du granite; et à quelques mètres des sources sulfureuses froides, on a vu qu'il y en avait à de hautes températures, et dont la composition était presque identique.

Digitized by Google

D'un autre côté, M. Bischof partage l'opinion de M. Daubeny sur les rapports qui existent entre les sources thermales et la direction des principaux soulèvements, la position des volcans anciens, les lignes de fractures, etc. Mais la cause et l'effet ont, dit-il, été souvent confondus. Les sources minérales et thermales sont rarement et peut-être même ne sont jamais la cause de ces phénomènes de l'écorce terrestre. Là où ces effets ont été produits, l'introduction des eaux pluviales dans l'intérieur de la terre est devenue possible. Les conduits naturels hydrauliques ont été formés par le soulèvement des couches, et la production des eaux minérales et thermales en est la conséquence. Enfin le degré de chaleur des sources dépend du plus ou moins de profondeur de leur point de départ et, par suite, uniquement de la chaleur centrale.

Après avoir déterminé les circonstances locales qui peuvent abaisser la température des sources ou la faire varier, le savant chimiste de Bonn fait voir que les sources peuvent amener à la surface la chaleur de l'intérieur de la terre. Plus la température des eaux surpasse celle des couches qu'elles traversent, plus elles perdent de cette température. Elles n'arrivent bouillantes à la surface que là où les foyers volcaniques se montrent eux-mêmes. (M. Bischof ne paraît pas avoir connu l'observation précédente de M. de Humboldt.) La température des sources dépendant de celle des eaux atmosphériques et de celle des couches qu'elles traversent, l'auteur a cru reconnaître en effet que les variations de température des eaux atmosphériques se manifestaient dans celles des eaux thermales. Il y a lieu de penser, en outre, que, dans les hautes latitudes, la terre a une température plus élevée, et, dans les basses latitudes, une température moins élevée que la moyenne de l'air atmosphérique. Il peut d'ailleurs exister une assez grande différence entre les températures de l'air et du sol; mais elles tiennent à des causes locales, et n'ont point de rapport avec la latitude du lieu.

M. Bischof conteste en outre (1) l'opinion émise par M. Liebig, que la formation des eaux acidules se rattache aux dépôts de lignite. Il n'y a en effet, en Allemagne, que deux sources de ce genre, celles de Roisdorf et de Godesberg, qui se trouvent dans le voisi-

---

(1) *Sur le gaz des marais et des mines, la formation des lignites et des houilles, sur les émanations d'acide carbonique et la formation d'eaux acidules* (*Journ. f. prakt. chem.* de *Erdmann*, vol. XXXI, 321-343. 1844).

Digitized by Google

nage de ces combustibles, ce qui ne détruit pas d'ailleurs la possibilité que l'humus et les amas charbonneux tertiaires aient quelque influence sur les produits de certaines sources.

Appendice bibliographique.

LARDNER VANUXEM. — *On the origin*, etc. Sur l'origine des sources minérales (*Transact. of the Assoc. amer. Geol.*, 1840-1842, p. 224).

J. BIANCONI. — *De origine caloris in aquis thermalibus considerationes quædam*. Bologne, 1842.

CH.-F. HARLESS. — *Ein Beitrage zur Bildungs-Geschichte*, etc. Fragment sur l'histoire de la formation des eaux minérales en général et de l'eau salée en particulier, avec des considérations sur les rapports probables des dépôts de sel, in-8. Bonn, 1845.

C. KERSTEN. — *Examen d'un nouveau silicate naturel, et essai pour expliquer sa formation et le contenu siliceux des eaux des mines* (*Journ. f. prakt. chem.* de *Erdmann*, vol. XXII, p. 1-7. 1841).

CHENU. — *Essai pratique sur l'action thérapeutique des eaux minérales en général, suivi d'un Dictionnaire des sources minéro-thermales*, 3 vol. in-8. Paris, 1841.

G. BISCHOF. — *Einige remarkungen uber die Entstehung*, etc. Remarques sur l'origine des sources thermales (*Neu. Jahrb.*, 1845, p. 419).

P. BRASSOVANGI. — *Generalia quædam de aquis mineralibus dissertatio inauguralis*, in-8. Pestini, 1846.

§ 4. Tufs et travertins.

Nous avons déjà parlé, en décrivant certaines sources thermales dont la température est fort élevée, des dépôts de silice qui se formaient autour d'elles et dans le voisinage de leur bassin; nous ne nous occuperons ici que des dépôts calcaires, qui sont beaucoup plus communs, plus étendus, et qui n'exigent point une haute température dans les eaux qui les déposent; souvent même ces dernières ont la température des sources ordinaires du pays. Nous ne mentionnerons d'ailleurs que ceux de ces dépôts qui ont une certaine importance géologique, et qui ont été signalés depuis peu. D'un autre côté, beaucoup de tufs et de travertins anciens se lient d'une manière tellement intime avec ceux que les mêmes sources, seulement moins chargées de calcaire, déposent encore, qu'il n'est pas toujours facile de les distinguer, et que les géologues qui les ont

Digitized by Google

décrits tantôt ont rapporté le tout à l'époque actuelle, tantôt à celle qui l'a précédée immédiatement; il se pourrait donc que cette confusion se retrouvât de même dans ce que nous allons dire.

Suisse. M. Necker (1) a fait connaître les nombreux gisements de tuf moderne que l'on rencontre sur les bords du lac de Genève, particulièrement aux environs de Montreux, de Meillerie et de St-Gingolph. Des infiltrations calcaires ont agglutiné en un poudingue assez solide les éléments d'un dépôt meuble de transport diluvien. La *greube* est un calcaire jaune, poreux, qui pourrait être plus ancien, mais qui renferme cependant des coquilles terrestres, dont les analogues vivent aux environs. Entre Veyrier et le château de Châtillon, la *greube* alterne plusieurs fois avec des lits de cailloux roulés.

Italie. Dans la province de Venise, M. T.-A. Catullo (2) indique des travertins stratifiés et massifs, qui ne peuvent être comparés à aucun des calcaires d'eau douce antérieurs. Les uns se forment journellement par l'infiltration des eaux pluviales ou des sources; d'autres constituent des masses peu étendues, et enveloppent des plantes semblables à celles qui végètent dans le voisinage; enfin il y en a qui se déposent dans les cavernes sous forme de stalactites et de stalagmites. Sur certains points, particulièrement à Lagole, village situé à deux milles de Pieve de Cadore, les calcaires concrétionnés, d'une épaisseur de $1^m,25$, s'étendent jusqu'au pied des collines, recouvrent les cavités qui s'y trouvent, et encroûtent les masses de gypse qui percent le sol vers le fond des vallées. Ce tuf calcaire, uniquement dû au dégagement d'acide carbonique, est blanc-jaunâtre ou cendré, compacte, quelquefois stratiforme, solide, dur, et susceptible d'être employé dans la bâtisse. Un tuf semblable, mais plus épais, se voit près de la côte d'Arzé, à l'est de la grande montagne de Fornesighe. Il s'en forme aussi constamment dans le Zoldiano, l'Agordino, le Cadore et le Bellunais.

M. Catullo signale encore la variété de tuf poreux ou rempli de tubes cylindriques composés de petites couches concentriques, et simulant la forme d'un os d'animal (p. 228). Ces tubes résultent de

(1) *Études géologiques dans les Alpes*, vol. I, p. 211.
(2) *Trattato sopra la costituzione*, etc. Traité sur la constitution géognostico-physique des terrains alluviens et post-diluviens des provinces Vénitiennes, in-8. Padoue, 1838.

Digitized by Google

l'encroûtement de tiges végétales qui ont disparu après avoir été ainsi revêtues. Ce sont les *osteocolla* des anciens auteurs, ainsi nommés parce que l'on croyait que, pris à l'intérieur, ils avaient la propriété de faciliter la reprise des os dans les fractures. Dans la principauté de Padoue, la chaux carbonatée stalactitiforme se trouve à Galzignano et Valsanzibio. Le tuf de Montiron, près Albano, est surtout remarquable par son épaisseur et les diverses variétés compactes, pisolitiques, mamelonnées, poreuses et tubulaires qu'on y rencontre.

Dans la Toscane, M. P. Savi (1) a distingué les travertins anciens des récents et fait observer que, sur quelques points, ces derniers ne sont que la continuation des premiers, reliant ainsi les dépôts tertiaires à ceux de l'époque actuelle. Outre les localités si nombreuses déjà connues où il se forme des tufs calcaires, M. L. Pilla (2) mentionne encore ceux d'une source minérale de Telesc, dans la terre de Labour, et qui se lient, comme les précédents, à des travertins plus anciens.

MM. Hamilton et Strickland (3) ont fait connaître, près de Broussa (et non Bursa), un dépôt de travertin très remarquable, formé par une source qui s'échappe du mont Olympe, et dont la température est de 184° F. Ce dépôt, dont nous avons déjà parlé en traitant des sources thermales de cette localité (*antè*, p. 463), a deux milles de long sur un demi-mille de large et une épaisseur de 33 mètres. Dans la vallée supérieure du Macetus, plusieurs sources thermales déposent aussi des couches considérables de travertin fibreux et mamelonné. Les sources chaudes d'Hierapolis forment également des stalactites et un calcaire concrétionné blanc, qui revêtent pour ainsi dire les falaises. Leur aspect particulier a fait donner à la ville le nom de *Bambouk-Kalesi* (*Pambouk-Calessi*) ou Château de coton, et, depuis Strabon, plusieurs historiens les ont mentionnés. Asie mineure.

Une grande partie de la plaine de la Pamphylie, disent MM. Spratt

(1) *Memorie per servire*, etc. Mém. pour servir à l'étude de la constitution physique de la Toscane, in-8. Pise, 1837-1839.

(2) *Saggio comparativo*, etc. Essai comparatif des terrains qui composent le sol de l'Italie, in-8. Pise, 1845. — Voyez aussi : *Osservazioni geognostiche*, etc. Observations géognostiques, etc., sur la Campanie (*Ann. delle Due Sicilie*, fasc. 6).

(3) *On the geology*, etc. Sur la géologie de l'Asie mineure (*Transact. geol. Soc. of London*, vol. VI, p. 1. 1841).

Digitized by Google

et Ed. Forbes (1), est composée de travertin moderne dont les couches se forment encore par l'abondance du carbonate de chaux que déposent les sources. Dans les endroits où ce travertin arrive jusqu'à la côte, il constitue des escarpements de 7 à 30 mètres d'élévation, et, à une certaine distance dans les terres, on remarque une série de hauteurs qui semblent représenter une ancienne ligne de falaises. Le long de la côte de Lycie, un dépôt assez étendu, qui se forme journellement, est composé de cailloux roulés alternant avec des lits de vase et de sable, cimentés en une roche très dure par une infiltration calcaire. Ce dépôt a d'ailleurs tous les caractères d'une plage récemment émergée.

Perse. Aux environs d'Usk, et sur les flancs du pic de Démavend, des sources chaudes abandonnent des globules siliceux qui, par leur accumulation, constituent de véritables couches. Sur d'autres points, c'est du soufre qui se dépose; et dans le Khorasan, M. Bell (2) cite également des sources dont les bassins sont remplis de globules siliceux. Des collines de 100 mètres d'élévation sont encore signalées en Perse, comme étant uniquement dues à des sources incrustantes (3).

Inde. Il existe dans une grande partie des vallées de l'Inde, ou sur les plateaux peu élevés, un tuf concrétionné, appelé dans le pays *kunker* ou *kunkar*, et dont l'origine est assez énigmatique, de même que celle du *latérite* et du *regur*, sur lesquels nous reviendrons ailleurs. Le kunker se divise en *kunker ancien* et *moderne*. Ce dernier est le seul dont nous nous occuperons en ce moment.

D'après M. J. Clarke (4), le kunker moderne résulterait de concrétions formées par les eaux qui renferment une certaine quantité d'acide carbonique, ou de carbonate enlevé au kunker ancien, ou bien à des roches calcaires; cependant il semble se produire

---

(1) *Travels in Lycia, Milyas and the Cibyratis*, 2 vol. in-8. Londres, 1846. — *Address deliv.*, etc., par M. L. Horner (*Quart. Journ. geol. Soc. of London*, vol. IV, p. 42. 1847).

(2) *Geological notes*, etc. Notes géol. sur une partie du Mazandéran (*Transact. geol. Soc. of London*, vol. V, p. 579. 1838).

(3) *Tufa formation in Persia* (*Journ. asiat. Soc. of Bengal*, vol. III, p. 54. 1834).

(4) *Geology of Bengalore*, etc. Géologie du Bengalore et autres parties du Mysore (*Madras Journ.*, n° 22, p. 89. 1839).

Digitized by Google

là où il n'existe aucune trace de l'ancien kunker ni même de bancs calcaires. Peut-être serait-il dû à l'altération des roches amphiboliques qui renferment du carbonate de chaux, et aux veines de cette substance qu'on y observe. M. Newbold (1) distingue aussi deux kunker, et regarde celui qui se forme aujourd'hui comme résultant des mêmes causes que l'ancien, lesquelles seraient excessivement atténuées. Il a d'ailleurs déduit des traditions locales et de ses propres observations sur les sources thermales de l'Inde les mêmes conclusions que nous avons vu MM. Girardin et Lecoq tirer de celles de l'Auvergne, savoir : un abaissement graduel de leur température et une diminution correspondante dans la quantité du dépôt calcaire qu'elles formaient. Les eaux minérales de l'île de Java déposent aujourd'hui des tufs calcaires semblables au kunker, et M. Hardie pense que telle est aussi l'origine du kunker ancien.

Si nous rapprochons ces faits de ceux que M. E. Robert a signalés dans le lit de la Seine (*anté*, p. 307) et d'autres que nous avons pu observer nous-mêmes, on sera porté à admettre que ces concrétions, d'ailleurs fréquentes dans la plupart des grands dépôts d'alluvions, s'y sont formées par les mêmes causes que les tufs déposés par les sources, mais dans des conditions différentes, telles que la largeur, la profondeur, l'étendue et la vitesse du cours d'eau, une moindre quantité de carbonate de chaux, la présence ou l'absence d'autres substances, etc.

Afrique. Algérie.

Les travertins déposés par les sources thermales anciennes, dit M. Renou (2), couronnent fréquemment tous les terrains de l'Algérie, tant dans l'intérieur que sur les bords de la mer, et ils se continuent encore aujourd'hui sur un certain nombre de points. Les sources thermales déposent des tufs qui empâtent une grande quantité de végétaux et de mollusques terrestres, et qui diffèrent à peine des travertins anciens. Les eaux bouillantes d'Hammam-Mascoutin, dont nous avons déjà parlé, abandonnent beaucoup d'aragonite soyeuse, et accidentellement du gypse, du soufre, des pyrites de fer, etc. Celles d'Hamman-Bou-Hadjar, dans la plaine d'Oran, vers Tlemcen, ont formé des dépôts très considérables. Ce sont des espèces de chaussées de 15 à 20 mètres de large, et qui

(1) *Note sur un dépôt d'eau douce récent dans l'Inde méridionale* (*Asiat. Journ.*, vol. XIII, p. 313. 1844).

(2) *Aperçu de la constitution géognostique de l'Algérie* (*Ann. des mines*, 4e sér., vol. IV, p. 534).

Digitized by Google

servent d'aqueducs aux sources qui les prolongent sans cesse à leur extrémité. On compte trois de ces chaussées, dont deux ont au moins 1,000 mètres de longueur. Ces sources salées et calcarifères ont une température de près de 50°.

Amérique du Sud. Brésil.

Enfin M. Ch. Darwin (1) a signalé, aux environs de Bahia, un enduit noir d'oxyde de fer et de manganèse, recouvrant les roches granitiques sur lesquelles coule l'eau d'un ruisseau. Un fait analogue avait été indiqué par M. de Humboldt à la surface des syénites des cataractes du Nil, puis aux cataractes de l'Orénoque et du Congo ou Zaïre.

(1) *Narrative of the surveying*, etc., vol. III. — *Journ. and Remarks*, in-8. Londres, 1839.

CHAPITRE III.

PRODUITS VOLCANIQUES.

VOLCANS MODERNES OU BRULANTS.

« Il est presque impossible, a dit M. de La Bèche, d'établir une » ligne de démarcation bien tranchée entre les volcans maintenant » en activité et ceux qui paraissent éteints, car on n'est jamais cer- » tain qu'un volcan ne passe bientôt de l'un de ces états à l'au- » tre (1). » En effet, la ressemblance, on pourrait même dire l'identité de certains volcans dont aucune éruption n'a été mentionnée même par les traditions les plus anciennes, avec ceux qui donnent chaque jour des preuves de la plus grande activité, paraît être telle que toute classification qui tendrait à les séparer sera toujours artificielle. Aussi, en ne traitant dans ce chapitre que des volcans brûlants, ou qui présentent encore quelques manifestations d'un travail intérieur, nous ne prétendons nullement qu'on doive les regarder comme distincts d'un grand nombre de ceux qui ont tout à fait cessé de rejeter des laves, des cendres, des gaz ou des vapeurs.

Nous ne faisons cette séparation que pour faciliter et simplifier l'énumération des faits, et ensuite parce que les volcans éteints, à cratères et à coulées, tels que ceux de l'Auvergne et de l'Asie mineure, par exemple, quoique bien distincts des basaltes et des trachytes qui les ont précédés, sont cependant groupés avec eux ou en sont très rapprochés. La succession des phénomènes qui ont produit les uns et les autres constitue une sorte de chaîne qu'il serait tout à fait irrationnel de vouloir rompre, et cela d'autant plus que les géologues qui s'en sont occupés ont presque toujours, et avec raison, considéré ces agglomérations de roches ignées comme un tout divisible en un certain nombre de parties. C'est par ce même motif que nous décrirons aussi, dans ce chapitre,

(1) *Manuel géologique*, traduction française, par Brochant de Villiers, p. 152.

Digitized by Google

les produits des volcans anciens toutes les fois qu'ils feront partie d'une montagne ou d'un groupe de montagnes où il y a encore des volcans en activité, tels que l'Islande, le Vésuve, l'Etna, Ténériffe, etc.

Nous avons été d'autant plus confirmé dans cette manière de diviser notre sujet, que M. le baron de Buch, dans l'*Indication des principaux volcans du globe*, dont il a fait suivre sa belle *Description physique des îles Canaries* (1), a limité à très peu près, comme nous le faisons ici, l'expression de *volcans modernes ou en activité*. Seulement, pour nous conformer à la marche générale que nous avons adoptée, nous les décrirons dans un ordre géographique et autant que possible par groupes naturels. Nous terminerons ce chapitre par quelques généralités sur les volcans et par l'exposition des diverses théories qui se rattachent à ces phénomènes, remettant à traiter plus tard des volcans éteints réunis aux éruptions basaltiques et trachytiques qui les avoisinent.

§ 1. Volcans d'Islande.

La géologie de l'Islande, sur laquelle on possédait déjà d'assez nombreux documents, a été récemment l'objet de deux publications importantes : l'une de M. Krug de Nidda, et l'autre de M. Eug. Robert. Il semble donc que cette île devrait être suffisamment connue, autant du moins que le permettent les circonstances dépendantes du climat ; mais il n'en est pas ainsi, car ces deux naturalistes sont arrivés à des conclusions assez souvent opposées, relativement aux grands traits caractéristiques du pays et à l'origine de son relief. Nous présenterons d'abord le résultat des recherches de M. Krug de Nidda, et ensuite celui des explorations de M. E. Robert, et nous ferons voir en quoi ils diffèrent l'un de l'autre. Cette dernière tâche nous sera d'autant plus facile, que M. Robert a pris soin lui-même d'exposer dans une note particulière, et avec autant de franchise que de convenance, les idées de son prédécesseur qui étaient contraires aux siennes.

D'après M. de Nidda (2), le sol de l'île appartient à deux formations principales de roches : l'une, qui occupe le fond de cette

(1) Berlin, 1825. Traduct. française, par M. C. Boulanger, 1 vol. in-8, atlas in-fol. Paris, 1836.

(2) *Geognostiche Darstellung der insel Island*, etc. Description

Digitized by Google

partie de l'Océan du Nord d'où s'élèvent l'Islande et les îles Féroë, est composée de trapp; l'autre, qui constitue le noyau de l'Islande en particulier et qui serait la cause de son existence, est le trachyte avec ses tufas, ses conglomérats volcaniques et ses courants de laves. Sur quelques points, où des entailles assez profondes permettent d'atteindre au-dessous du trapp, il existerait une formation sédimentaire altérée.

L'auteur a déterminé ensuite les limites d'une grande bande trachytique, presque continue, dirigée N.-E. ; S.-O. à travers toute l'île. Elle s'étend à l'O. depuis Reykiavik jusqu'au commencement de l'Œfiard. Vers l'E. la limite longerait le Langar Fliot, à travers le Snœfells et le Klofa Jokull. Les bords de la bande principale sont formés de dômes trachytiques arrondis qui suivent la direction générale et se maintiennent à une hauteur de 1666 mètres, semblables à deux immenses bourrelets bordant une vallée profondément encaissée. C'est dans cette vallée que se manifestent aujourd'hui tous les phénomènes d'une action volcanique continue, tels que les sources chaudes, les geysers, les solfatares, les sources acidules, etc.

Les éruptions de laves se font ordinairement par des bouches qui s'ouvrent l'une après l'autre, sur un même alignement, au pied des montagnes et dans les vallées, et qui vomissent une immense quantité de matières fluides. Ces monticules, qui restent sans action après que l'éruption qui les a produits a cessé, sont alignés suivant une direction qui passe toujours par le centre du volcan dont on peut croire qu'ils dépendent. « C'est ainsi que plusieurs centaines de monticules, dont les laves ont ravagé la presqu'île de Reykianes, se dirigent, dit M. de Buch (p. 353), vers le majestueux dôme trachytique du Skialdbreid qui domine les solfatares et les sources jaillissantes de Skalholt ; c'est ainsi que toutes les éruptions autour du Snœfells-Jokull, éruptions qui s'étendent à plus de 10 lieues vers l'E., se dirigent toujours vers cette haute montagne, et c'est encore la direction des cratères d'éruption et des phénomènes volcaniques autour de l'Oestre Jokull, dont l'Hékla même ne paraît être qu'une dépendance. »

---

géologique de l'Islande (*Arch. f. minér.* de *Karsten*, vol. XVII, p. 426. 1834, avec une carte et des coupes). — Voyez aussi : L. de Buch, *Descript. phys. des îles Canaries*, trad. française, p. 351 et pl. X.

Digitized by Google

Enfin, c'est, sur une grande échelle, la formation des cônes d'éruption que l'on observe souvent dans d'autres pays, le long des crevasses dont la direction passe toujours par le centre du volcan.

Les basaltes forment des strates parallèles qui se succèdent de bas en haut avec une grande régularité, mais découpés en quelque sorte par des canaux à parois perpendiculaires qui constituent, dans l'intérieur de l'île, des vallées escarpées, et, près de la mer, des *fiords* ou golfes étroits (1). La direction de ces crevasses est presque toujours perpendiculaire à celle de la bande principale de trachyte.

M. Krug distingue, dans l'épaisseur de la partie basaltique de l'île, deux séries de couches. La plus inférieure est composée d'un basalte grenu avec beaucoup de pyroxène, mais jamais de péridot, alternant avec des couches d'amygdaloïde dont les grandes cavités sont tapissées de cristaux de zéolites. On y trouve aussi subordonnés des lits minces de lignite ou *surturbrand* (*surtarbrandur*). La partie supérieure est formée par une roche assez semblable à un porphyre et dans laquelle dominent les cristaux de labradorite, tandis que ceux de pyroxène y sont moins nombreux ; aussi la teinte de la roche est-elle moins foncée que celle de la précédente. On n'y remarque ni lignites ni amygdaloïdes. Toutes ces couches sont en outre traversées par une immense quantité de filons basaltiques

---

(1) « Ces golfes, dit M. Krug de Nidda, qui n'ont souvent qu'un » demi-mille de largeur, s'étendent jusqu'à 5 et 6 milles de longueur » dans les montagnes, où ils sont entourés de tous côtés de rochers es» carpés à pic et qui s'élèvent à une hauteur considérable. La moitié » supérieure de ces gigantesques murailles, couvertes de neiges éter» nelles, reste cachée dans d'épais nuages. Là, plus de traces de la vie ; » tout est mort et solitude ; aucun homme, rien d'humain au milieu » de ces masses entassées par la nature ; point de forêts, point d'ar» bres ; des roches nues, et en général trop escarpées pour donner » prise à la végétation la plus humble ; pas d'autre bruit que le bri» sement de la mer répété par les échos ; pas d'autre mouvement que » celui des torrents alimentés par les neiges, et qui sillonnent les » flancs des rochers comme des rubans argentés. » A ce tableau d'un paysage morne et désolé M. E. Robert ajoute : « Vers l'heure de » minuit, à l'époque de l'année où le soleil est toujours au-dessus de » l'horizon, et lorsque l'atmosphère est d'une pureté et d'un calme » parfaits, il règne au fond de ces mêmes fiords un jour mystérieux » indéfinissable, que je n'ai vu nulle part ailleurs qu'en Islande. On » dirait alors autant de sanctuaires où la nature se repose. » (E. Robert, *Voyage en Islande et au Groënland*, p. 128.)

de même nature que les roches dans lesquelles ils ont été injectés.

L'inclinaison des nappes basaltiques, lorsqu'elle est appréciable, est rarement de plus de cinq degrés et elle est toujours régulièrement dirigée vers l'intérieur de l'île, c'est-à-dire vers le noyau trachytique, et jamais en dehors. Vues du côté de la mer, ces nappes paraissent être horizontales, et l'on peut suivre leur pente en remontant les golfes et les vallées. Cette inclinaison d'une roche plus ancienne vers une autre soulevée plus récemment est un phénomène remarquable, dit l'auteur, et qui s'observe toutes les fois que la roche ancienne a été déchirée et soulevée par la plus récente. On devrait, continue-t-il, supposer le contraire, puisque le soulèvement du trapp a été opéré par le trachyte; mais la cause de cette contradiction apparente peut provenir de l'écroulement d'une partie de la roche ancienne à travers la déchirure formée par le trachyte.

Cette disposition est, comme on le sait aujourd'hui, très fréquente dans les soulèvements, et les roches stratifiées anciennes semblent plonger sous les roches ignées qui les ont soulevées; mais M. Krug nous paraît être le premier qui l'ait signalée, sur une aussi grande échelle, pour des roches ignées inclinant vers d'autres produits ignés d'une époque plus récente, et qui lui ait en même temps assigné pour cause précisément celle à laquelle on a encore recours aujourd'hui.

Les caractères de ces nappes basaltiques régulières, coupées par des filons, et la présence de nombreuses zéolites qu'on ne trouve point dans les cavités des laves modernes, font penser à M. de Buch que les éruptions ont eu lieu sous la haute pression des eaux de l'Océan. « L'élévation des trachytes, ajoute ce célèbre géologue » après avoir analysé le travail de M. Krug de Nidda, n'a pas seu- » lement rompu la continuité des couches basaltiques dans le mi- » lieu de l'île, mais toutes ces couches doivent encore avoir été » soulevées en même temps du fond jusqu'à leur hauteur actuelle, » qui est ordinairement de 2,500 pieds, mais qui atteint près de » 4,000 pieds au-dessus de Benefiord. Elles seraient plus inclinées » qu'elles ne le sont en effet, si ce soulèvement n'avait pas été » contemporain. Toutefois, comme l'élévation des trachytes doit » avoir été postérieure à la formation du lignite, on voit que cette » élévation est un des phénomènes géologiques les plus récents du » globe. »

M. Eug. Robert, dans une description plus détaillée de l'Is-

lande (1) qu'il a publiée à la suite de ses voyages avec l'expédition scientifique de la corvette *la Recherche*, s'est d'abord occupé de la partie méridionale de l'île. La dolérite lui paraît être une des roches volcaniques les plus anciennes et constituer les environs de Reykiavik et les caps Seltjarnanes, Alptanes et Reykianes. Des galets et des tufs volcaniques la recouvrent, à une certaine hauteur au-dessus de la mer, et renferment des coquilles récentes; mais ces dernières ayant pu y être apportées par des causes accidentelles, l'auteur n'en conclut pas le soulèvement moderne de cette partie de la côte.

Au-delà de Laugarnes la dolérite passe à un basanite à cellules verticales et trichotomes, qui se change à son tour en une mimosite à grain fin et compacte, puis en une gallinace colomnaire ou globulaire. Les basaltes, les mimosites et les basanites de l'île de Videy sont remarquables aussi par leur disposition colomnaire. Le pays de Raudhòlar se distingue par la grande quantité de petits cratères de scories rougeâtres qui se sont fait jour à travers la dolérite. La chaîne d'Esia, à l'ouest de Reykiavik, est composée de pépérinos, de wackes et d'autres roches volcaniques caractérisées par leur teinte générale verte, et traversées de dykes nombreux. Dans la baie de Fossvogur, un pétrosilex pyritifère est, sinon primaire, du moins beaucoup plus ancien que toutes les roches ignées du pays.

Dans le district de Borgarfiordur, on remarque une grande vallée de déchirement, ayant à ses extrémités plusieurs cônes volcaniques qui se sont formés dans une crevasse préexistante, en communication avec le foyer intérieur. Vers le sud, cette vallée aboutit à la mer; au nord, elle est bornée par une montagne renfermant un amas de lignite (*surtarbrandur*) et par la montagne trachytique de Baulà. A l'est et à l'ouest, sont des basaltes anciens très disloqués. L'auteur décrit aussi les laves de Stadahraun, sorties du Skogafiall, le cratère de Budir, ainsi que le champ de lave qui en est descendu, et dont les anfractuosités sont remplies de sable pyroxénique, péridotique et coquillier, puis les arches naturelles de Stapi, à la base du Snœfells-Jokull.

Cette dernière montagne, élevée de 1,600 mètres, d'après Olaf-

(1) *Voyage en Islande et au Groënland, exécuté pendant les années* 1835 *et* 1836. *Minéralogie et géologie*, 1[re] partie, in-8, atlas pittoresque colorié, in-8, et atlas géologique in-fol. Paris, 1840. — *Bull.*, vol. VII, p. 5.

Digitized by Google

sen et Paulsen, ou seulement de 1,388 mètres, d'après Mackenzie, a été l'objet d'une étude particulière de la part de M. Robert (p. 99). Ce géologue y signale la plupart des variétés de roches volcaniques modernes et anciennes (basalte, gallinace, pépérite, téphrine, dolérite), puis le basanite, qui paraît former le cône supérieur, enseveli, comme le cratère, sous un épais manteau de neige. Les montagnes qui entourent le Snœfells-Jokull semblent incliner vers son axe, circonstance que l'on remarque dans la plupart des montagnes qui plongent vers l'intérieur de l'île ou vers le centre des grands volcans. Elle est attribuée, comme nous l'avons dit, au vide formé sous l'écorce terrestre, peu épaisse en ce point et cédant à la pression de la masse superposée. Sur la côte nord du golfe de Breyda-Fiordur, à la partie occidentale de l'île, se trouve (p. 107) un grand nombre de couches appartenant aux roches basaltiques anciennes et très riches en zéolites. La forme singulière des montagnes isolées de ce district et les grands escarpements qu'on y remarque résulteraient d'éboulements successifs, dont on retrouve tous les éléments dans le talus qui règne en général jusque vers le milieu de la hauteur, lors même que les escarpements sont à pic. La mimosite du port de Stikkishòlmur est remarquable par la grande quantité de calcédoine qu'on y rencontre; et la mimosite colonnaire de l'îlot de Saudarey, de même que les dykes verticaux de Haskerdingur attirent l'attention du voyageur par leur étrange aspect.

Dans la région septentrionale de l'Islande, M. E. Robert mentionne un trachyte porphyroïde altéré, recouvert par un dépôt épais de pépérino, et qui constitue la chaîne de montagnes qu'il traversa pour atteindre le golfe de Huna-Floi. Depuis le pied de cette chaîne jusqu'au bord de la mer, règne une nappe basaltique formant une plaine peu inclinée. La montagne de Betruhals est caractérisée par ses wackes rouges; et le fiord de Kollafjardanes par ses dykes de mimosite, qui se montrent sur les flancs des collines semblables à de vieilles murailles démantelées.

Au cap Hafharnes, près du cercle polaire, les fiords étaient encombrés de glaces échouées et d'une grande quantité de bois de conifères et de bouleaux, que M. E. Robert suppose (p. 132) provenir principalement de la Sibérie. Se dirigeant ensuite au sud, pour pénétrer au centre de l'île, il décrit le gisement de *surtarbrandur* ou lignite d'Hvammur. Situé à 150 ou 200 mètres environ au-dessus de la mer, et adossé à une mimosite à grain fin qui constitue la montagne Thoriseingis-Muli, le lignite est disséminé dans

un trass endurci qui forme une couche de 5 mètres d'épaisseur sur une longueur de 10 mètres. Au-dessous, le trass renferme des empreintes qui paraissent provenir de *Zostera* et d'*Equisetum*, semblables à ceux qui végètent encore dans l'île. Il en serait de même des bois comprimés que l'on observe dans ce dépôt, et qui auraient appartenu à des bouleaux du pays. Pour expliquer la formation de ces amas charbonneux, l'auteur suppose que, dans l'origine, l'Islande n'était qu'un archipel d'îlots reliés entre eux par des éruptions successives. A cette époque, des bois flottés venaient, comme aujourd'hui, échouer et s'accumuler dans le fond des baies, et plus tard ils se sont trouvés enveloppés, puis soulevés par les produits volcaniques.

La montagne pyramidale de Baula est entièrement composée d'un trachyte poreux, blanc-jaunâtre, et présente, dans sa partie inférieure, de nombreuses colonnes pentaèdres. Un cratère d'éruption situé au pied de Baula représente très bien, par rapport à cette montagne, le petit puy de Dôme (*Nid de la Poule*) par rapport au grand.

(P. 193.) Le mont Hékla, dont la hauteur est de 1,557 mètres (1), a été souvent mentionné par les voyageurs, et M. Garlieb entre autres a rassemblé les documents historiques relatifs aux 24 éruptions connues de ce volcan, depuis l'an 1004 jusqu'en 1772. A la base de la montagne est un grand dépôt de pumite légère, blanc-jaunâtre, renfermant des tiges de bouleau. Derrière le *bœr* de Selsund on voit l'extrémité d'un courant de lave, probablement l'un des derniers rejetés du volcan par une bouche parasite située près du sommet de la montagne. Cette coulée est environnée de tous côtés par un dépôt puissant de scories très légères, noires ou lie de vin. Une obsidienne smalloïde passant à la gallinace et une scorie très tenace se rencontrent depuis la limite inférieure des neiges jusqu'au cratère. Une scorie jaunâtre occupe le bord de ce dernier, et des scories noires, pesantes, perçant la neige, forment une petite crête sur le revers méridional du glacier de l'Hékla. Ce volcan paraît être le seul de l'île où l'on trouve, depuis la base jusqu'au sommet, de l'obsidienne à tous les états, lithoïde, vitreuse,

---

(1) MM. Descloizeaux et Bunsen ont trouvé, par des mesures barométriques prises en 1846, environ 1,400 mètres, ou 157 mètres de moins que la hauteur indiquée (*Compt. rend.*, vol. XXIII, p. 772. 1846).

Digitized by Google

ponceuse, etc., de sorte que la montagne peut être considérée, au moins dans son enveloppe extérieure, comme entièrement feldspathique.

De l'Hékla au cap Reykianes il y a des attérissements de ponce et de sables basaltiques et divers courants de lave qui viennent aboutir à la mer. La soufrière de Krisivik, située non loin de la côte, est entourée de montagnes bouleversées, et paraît occuper la place d'un ancien cratère, quoique les dégagements sulfureux aient lieu particulièrement sur ses bords. A sa base on voit des eaux thermales ou plutôt des espèces de salses jaillissant dans une boue blanc-jaunâtre qui est le sol environnant délayé. Les principales solfatares existent aujourd'hui au milieu d'une lave basanitique altérée, verdâtre, très friable, qui se montre à la base du dépôt siliceux que les sources thermales ont abandonné au pied de la montagne de Badstofa.

L'espèce de colline que forment les solfatares augmente tous les jours, et est composée d'une terre siliceuse jaunâtre, pulvérulente, résultant de l'altération des laves par les vapeurs acides sulfureuses. Le soufre est pulvérulent ou concrétionné, verdâtre et cristallisé à la surface du sol. Le sulfate de chaux se présente en plaques éparses sur la soufrière. Le gypse que l'on voit plus bas paraît appartenir à une époque plus ancienne. (P. 209.) Il existe aussi une sorte de rapport entre ce phénomène et ceux des geysers: les uns sont une association de soufrières et de sources thermales siliceuses caractérisées par la présence du soufre, et qui se voient près du cap Reykianes, où les dernières éruptions volcaniques ont eu lieu; les autres se trouvent près de l'Hékla, *qui ne tardera sans doute pas à faire une nouvelle et terrible éruption.* Cette prédiction de M. E. Robert s'est en effet accomplie d'une manière bien remarquable le 2 septembre 1845 (1).

En se dirigeant ensuite vers l'est, ce géologue signale des tufas de gallinace et autres produits volcaniques, puis l'Austur-Jokull, élevé de 1,818 mètres, et dont la dernière éruption eut lieu en 1823. Le long de la côte méridionale, se montrent encore des roches de même origine, et le Skaptar-Jokull, qui eut une éruption très considérable en 1783. Au-delà d'Arnardrangur apparaissent, sur une immense étendue, de petits cratères ou *hornitos* au nombre de plus de 2,000. Ils ont de 8 à 10 mètres de hauteur, et n'ont

(1) Voyez ci-après la relation de cette éruption.

Digitized by Google

rejeté que des scories. Ils paraissent dus au contact de la lave avec les eaux d'un grand lac qu'elle aurait comblé. De tous les pays volcaniques, l'Islande est peut-être celui où ces petits cônes sont le plus nombreux, probablement à cause de la grande quantité de lacs qui s'y trouvent et de l'humidité constante du sol.

A Dverghamrar, des masses considérables sont formées de colonnes prismatiques de 6 à 7 mètres de haut, et surmontées d'autres colonnes plus petites, diversement contournées. Toutes sont de mimosite porphyroïde à grain fin et passant au basanite. La montagne de Drangur, derrière Nupstadur, offre de bas en haut des couches puissantes de tufas vitrifiés et de gallinace bréchoïde, une péridotite à gros grains, une wacke gris-blanc avec chabasie, un basanite cellulaire intercalé dans un conglomérat de gallinace avec apophyllite, enfin vers le haut un basanite gris zoné.

Le Klofa-Jokull, l'un des plus grands volcans de l'île, est entouré d'immenses glaciers, au pied de l'un desquels M. E. Robert a trouvé beaucoup de cailloux de roches cristallines anciennes (roches schisteuses compactes, talqueuses, porphyroïdes et quartzifères, pétrosiliceuses, des grauwackes à grain fin et une sélagite hypersténique) se trouvant probablement en place sous les glaces qui les ont charriées (p. 243). La côte orientale présente d'abord un grand cirque, l'Endalausadalstindur, entouré de hautes montagnes pyramidales de wacke très redressée, et vers le centre duquel se voit un massif qui paraît être composé d'harmophanite (feldspath granulaire); puis vient la montagne de Lousheidi, où abonde le rétinite vert, et au-delà les nappes rocheuses plongent de 15° environ vers l'intérieur de l'île.

Dans les fiords de Hamar et de Beru, on observe de bas en haut un trachyte tabulaire gris-rougeâtre, jaunâtre et globulifère, dont les cavités sont remplies de cristaux de quartz; au-dessus est une couche puissante de rétinite noirâtre, traversée par des veines de jaspe rougeâtre et de calcédoine, puis des couches inaccessibles inclinées de 15° au N.-O. La montagne de Bulandstindur est formée de couches disposées en gradins, et à sa base, dans un basanite ancien, se présente le spath calcaire le plus pur de l'Islande. Il y a en outre de la stilbite, de la chabasie, de la sphérostilbite, de la mésotype, de la scolésite et du quartz hyalin tapissant de grandes géodes, de même que des variétés de calcédoine stalactiforme, le cacholong opalin, etc.

En remontant le torrent de Silfurlœkir, qui descend de la mon-

Digitized by Google

tagne d'Helgustadahlid (p. 255), on voit le spath calcaire former une sorte de filon de 40 pieds de long sur 8 à 9 d'épaisseur au centre, dirigé E., O. et incliné de 25°. Il est encaissé dans une mimosite noirâtre, à grain très fin, passant au basalte, altérée dans le voisinage du filon et renfermant des amandes calcaires (1). Ce gisement, le plus remarquable de l'île, serait une vaste amande formée, comme les zéolites ou par la voie aqueuse, dans une cavité préexistante de la roche volcanique. Le spath n'est pas d'ailleurs pur; il renferme, surtout vers le centre, de la magnésie qui le fait passer à la dolomie. La stilbite en très beaux cristaux est aussi associée au calcaire.

Le lignite de Vopna-Fiordur (p. 263), placé au fond de la baie de Virki, entre les montagnes Vinfell et Krossavik, constitue un amas de 110 mètres de long sur 12 d'épaisseur. Il est composé de plusieurs couches un peu ondulées, subordonnées à une péridotite cellulaire, en colonnes pentaèdres de 10 mètres de hauteur. Les troncs d'arbres sont encore très reconnaissables ou peu déprimés, privés de leur écorce et souvent disséminés dans un conglomérat ponceux. Au-dessus de cette première couche, est un banc composé de galets de basanite, de rétinite et d'un tufa grisâtre avec peu de lignite; puis vient une gallinace imparfaite avec beaucoup de bois charbonnés, une pépérite endurcie contenant quelques tiges éparses, et enfin une seconde couche de gallinace avec lignite comprimé et séparant le tout de la péridotite qui s'est épanchée par-dessus. Ces substances végétales sont ordinairement à l'état de lignite piciforme, surtout à l'extérieur des fragments; d'autres fois, le bois est à peine altéré et peut être employé dans les constructions. Ces amas, que M. Robert attribue à des bois flottés de conifères, ne se forment plus parce que les habitants les recueillent au fur et à mesure que la mer les rejette, mais ils ne résultent point d'anciennes forêts détruites, lesquelles n'ont certainement jamais existé dans l'île.

---

(1) D'après M. Krug de Nidda (*loc. cit.*), le spath d'Islande serait une métamorphose ignée de fragments calcaires enveloppés par les dolérites lors de leur éruption, opinion qui est aussi celle de M. de Léonhard (*Histoire des basaltes*, part. II, p. 242). M. Descloizeaux a décrit dans le plus grand détail ce gisement de spath d'Islande; ce serait, suivant lui, une grande géode, dont le remplissage se serait opéré à plusieurs reprises (*Soc. philomatique*, 20 janv. 1847. — *Bull.*, 2e sér., vol. IV, p. 768. 1847).

Digitized by Google

La région qui entoure le lac de Myvatn, le plus étendu de tous ceux de l'île, peut être considérée comme le centre des forces volcaniques de sa partie orientale. Ainsi, du pied de la montagne de Namufiall, sortent, comme nous l'avons dit en parlant des eaux thermales, du gaz acide sulfureux, des sources bouillantes et bourbeuses et des salses intermittentes. Des soufrières se trouvent aussi dans le voisinage. Elles paraissent occuper d'anciennes bouches volcaniques et se sont fait jour, comme celles de Krisivik, dans les parois bouleversées d'anciens cratères d'éruption. La montagne de Krabla est encore une immense soufrière, et celle qui lui fait suite est entièrement composée d'une obsidienne noir-bleuâtre qui a coulé en nappes, et présente de nombreuses variétés.

(P. 282.) Sur la côte ouest, près de Husavik, on trouve, à 65 mètres au-dessus de la mer, un tufa noirâtre accompagnant du lignite composé de bois très comprimés et d'autres non déformés, pétrifiés et passés à l'état de chaux carbonatée quartzifère, xyloïde, avec quelques pyrites. Les coquilles marines, très répandues dans ce dépôt, sont parfaitement conservées, et appartiennent à des espèces qui vivent encore sur la côte (*Venus islandica* (*Cyprina*), *Mya arenaria*, *Tellina solidula*, *T. tenuis*, *Natica clausa*, *Cardium* af. *sulcatum*, *Solen vagina*, *Solen ensis*, *Buccinum* af. *reticulatum*). Ces coquilles sont toutes plus ou moins à l'état spathique et transformées en géodes. Dans celles-ci se trouvent les variétés de chaux carbonatée primitive, contrastante, inverse et mixte; cette dernière forme est quelquefois encroûtée de chabasie.

Dans l'intérieur de l'Islande, en retournant à Reykiavik par Kalmannstunga, M. E. Robert décrit encore (p. 294) la grande caverne de Surtshellir, immense canal tortueux à plusieurs embranchements, par lesquels la lave, sortie du Hofs ou Langi-Jokull, circulait en conservant sa fluidité première qui lui permettait ainsi de s'épancher au loin. La description, aussi élégante que pittoresque, donnée par l'auteur de cette vaste galerie et des ornements variés que la nature y a prodigués, sera certainement lue avec un vif intérêt.

D'après M. E. Robert, les basaltes de l'Islande sont riches en feldspath et se rapprochent du phonolite. La montagne de Baula serait le point central des éruptions trachytiques; toutes les nappes basaltiques anciennes plongent vers le centre de l'île, et il n'y aurait point de bande trachytique courant S.-O., N.-E., comme l'avait établi M, de Nidda. Le véritable trachyte serait d'ailleurs rare dans

Digitized by Google

cette île. Aussi l'auteur pense que l'Islande, comme M. de Humboldt l'a supposé pour le Chimborazo, reposait sur une immense cavité, et que, de même qu'en 1698 s'engloutirent les dômes trachytiques du Capac-Urcu et du Carguairazo, et plus récemment un volcan de Java, l'Islande, surchargée de masses basaltiques et laviques, se sera en partie affaissée vers son centre. De cette manière s'expliqueraient la faible inclinaison des couches actuelles vers ce même centre, et la disposition des côtes, qui la font ressembler à une île fortifiée tout autour par des murailles gigantesques et crénelées, tandis que, dans l'état ordinaire des choses, toutes ces coulées basaltiques eussent été inclinées vers les côtes.

Si nous nous rappelons actuellement les grands traits orographiques et géologiquesque M. Krug de Nidda nous a montrés en Islande, nous les trouverons, à une seule exception près, en opposition avec ces conclusions de M. E. Robert. Cette exception est l'inclinaison générale des nappes basaltiques vers le centre de l'île (1), que M. E. Robert invoque à tort, suivant nous, contre l'opinion de son prédécesseur ; car, ainsi que nous l'avons dit, l'inclinaison des couches vers l'axe ou vers le centre du soulèvement est un fait assez commun et qui même à priori prouverait en faveur de l'assertion de M. de Nidda.

Sans nous arrêter au désaccord qui existe entre ces deux géologues sur quelques faits peu importants, comment supposer qu'un caractère aussi frappant que celui d'une dépression du sol traversant toute l'Islande du N.-E. au S.-O., précisément sur le prolongement de l'île volcanique de Jean Mayen, et bordée par deux bourrelets de trachyte, dont l'apparition aurait donné lieu à la vallée et soulevé les nappes trappéennes anciennes, tout en leur imprimant un mouvement de bascule; comment supposer, disons-nous, qu'une disposition aussi simple, dont l'existence a reçu la haute sanction de M. le baron de Buch, le savant le plus capable d'apprécier un pareil phénomène, ait pu échapper complétement aux explorations qu'a faites M. E. Robert, non seulement sur presque tout le littoral, mais encore dans plusieurs directions à travers l'île ? On doit regretter que ce dernier n'ait pas pris connaissance, avant son voyage, des résultats obtenus par son prédécesseur, car il se fût,

(1) M. Descloizeaux a trouvé que dans les fiords profonds de la partie orientale de l'île, là où les escarpements sont coupés perpendiculairement à la direction, cette inclinaison se maintenait entre 1 et 10 degrés.

sans doute, attaché à les réfuter par des observations spéciales et dirigées dans ce but, et non par un argument qui, au point de vue général, se trouve être sans valeur.

Il nous paraît probable que M. Krug de Nidda a fait une étude des roches beaucoup moins détaillée que M. E. Robert, et qu'il a souvent confondu, sous le nom vague de *trapp*, des roches très distinctes, que ce dernier voyageur a, au contraire, parfaitement caractérisées et décrites. Il serait donc possible que d'une part plusieurs des roches, que M. de Nidda regarde comme des trachytes et qui entrent dans la composition de la grande bande centrale, ne fussent point réellement des trachytes, et que, de l'autre, M. E. Robert, préoccupé de l'examen de ces mêmes roches, n'ait pas tout à fait saisi l'orographie générale du pays et la disposition relative de ses principales masses ignées.

Quoi qu'il en soit, cette question si importante pour l'un des points du globe où les phénomènes volcaniques se présentent avec le plus de variété et d'intérêt ne peut manquer d'être bientôt résolue. Déjà M. Descloizeaux, minéralogiste très distingué qui a visité l'Islande en 1846, a bien voulu nous communiquer quelques unes de ses observations à ce sujet, et il pense, avec M. E. Robert, que la bande trachytique si nettement indiquée par M. de Nidda n'existe pas, que les trachytes ne forment qu'un très petit nombre de buttes ou de montagnes isolées, et que la roche dominante de la partie sud-ouest de la grande dépression, ou mieux du plateau central allongé du N.-E. au S.-O. de l'île, est composée d'un tuf volcanique sans stratification distincte. Ce tuf, qui paraît être fort ancien et antérieur aux grandes nappes basaltiques, ou au moins à une partie d'entre elles, est percé çà et là par quelques collines de phonolite, et recouvert sur divers points par les produits des éruptions modernes.

D'après les renseignements qu'a obtenus M. Forchhammer (1), la dernière de ces éruptions eut lieu au mont Hékla le 2 septembre 1845, à neuf heures du matin, après une légère secousse de tremblement de terre, ressentie dans un rayon de trois milles autour de la montagne. Une épaisse colonne de fumée parut d'abord, accompagnée d'un violent bruit souterrain, semblable au roulement du tonnerre. Une grande quantité de cendres et de lapilli furent lancés en même temps, et vinrent tomber jusque dans le lit des rivières de

(1) *Ann.* de *Poggendorff*, vol. LXVI, p. 458, oct. et nov. 1845. — *Neu. Jahrb.*, 1846, p. 586.

Digitized by Google

Banga et de Markarfliot. Ces matières sont sorties par trois bouches différentes, ouvertes, à partir du sommet, sur la pente sud-ouest de l'Hékla, et la lave s'est fait jour par une quatrième ouverture située un peu au-dessous des précédentes et dans la même direction. Jusqu'au 18 septembre l'émission des cendres n'avait pas cessé, et par un temps clair on pouvait apercevoir la colonne de fumée et de flamme de Reykiavik, éloigné de 14 milles et demi. L'éruption n'avait pas perdu de sa force jusqu'au 12 octobre suivant, et la lave continuait de couler par le cratère du sud-ouest.

D'autres renseignements, recueillis par M. Descloizeaux l'année suivante, ont fait connaître que les derniers phénomènes s'étaient manifestés au commencement de mars 1846. Il y avait eu des moments de repos dans les mois de novembre et de janvier, et au mois de juillet il ne restait plus que des fumerolles autour du cratère et au milieu du courant de lave. Il n'a pas été possible de savoir précisément s'il y avait eu ou non interruption dans les ascensions des geysers depuis le commencement de l'éruption de l'Hékla, ainsi qu'on l'avait prétendu d'abord.

MM. Descloizeaux et Bunsen (1) ont donné de leurs observations, une relation sommaire à laquelle nous empruntons ce qui suit. Depuis 53 ans l'Hékla n'avait donné aucun signe de travail. Le principal courant de lave sorti en 1845 s'est dirigé vers l'O.-S.-O. et s'est étendu sur une longueur de 16 kilomètres environ et sur une largeur de 2 kilomètres. Son épaisseur varie de 15 à 25 mètres. Sur des pentes comprises entre 0° et 25°, ses caractères sont constamment les mêmes. Nulle part il ne présente une masse homogène et continue; ce sont toujours des blocs isolés, souvent d'un volume très considérable, accumulés avec une certaine symétrie, et qui offrent dans leur ensemble un immense ruban dont les bords forment un talus incliné de 35 à 40°. L'intérieur du courant est sillonné par une multitude de ravins parallèles, longitudinaux, de 5 à 6 mètres de profondeur, et la partie centrale contenait encore au mois de juillet de nombreuses fumerolles sur les bords desquelles le sel ammoniac se déposait en beaux cristaux transparents, ou en grandes masses fibreuses tantôt parfaitement blanches, tantôt colorées par du chlorure de fer. Les fumerolles qui s'échappaient aussi du cratère ne déposaient au contraire que du soufre.

Nous avons mentionné ci-dessus (*antè*, p. 218) les cendres de

(1) *Compt. rend.*, vol. XXIII, p. 772. 1846. — *L'Institut*, 26 nov. 1845, p. 416.

cette éruption, transportées par le vent jusque sur les îles Shetland et Orcades, et recueillies aussi sur des bâtiments en mer, et nous traiterons à la fin de ce chapitre des caractères organiques qu'on y a reconnus.

§ 2. Volcans d'Italie.

MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont ont présenté en 1835, à l'Académie des sciences, deux mémoires, l'un sur les volcans des environs de Naples et l'autre sur le massif de l'Etna. Ces publications, si remarquables à tous égards, ayant embrassé dans leur ensemble tous les phénomènes qui se sont produits autour de ces deux centres d'actions ignées, leur analyse nous servira aussi de base pour grouper les observations postérieures, de manière à présenter en quelque sorte un abrégé de l'histoire de ces volcans.

ponceux. Dans son *Mémoire sur les terrains volcaniques des environs de Naples* (1), M. Dufrénoy a décrit d'abord les caractères du sol de cette partie de la Campanie. C'est, dit-il, un tuf ponceux régulièrement stratifié, alternant avec des couches marneuses. Sa composition est uniforme, et présente des fragments de trachyte à plusieurs états, des pierres ponces prédominantes, des galets de trachyte, de quelques roches anciennes et de calcaire gris. On observe d'ailleurs plusieurs variétés de ce tuf, qui renferme des nodules concrétionnés endurcis et des coquilles dont les analogues vivent encore dans la Méditerranée.

L'identité des caractères du tuf sur les divers points de la campagne de Naples, quelle que soit la hauteur à laquelle on le trouve aujourd'hui placé, prouve qu'il est partout le résultat des mêmes circonstances. Ainsi le tuf des pentes de la Somma est semblable à celui des Camaldoli, de la Solfatare, d'Ischia, etc. Dans l'île de Nisita, au cap Misène et à l'île de Procida, il a éprouvé des plissements remarquables. Dans le massif de l'Epoméo il constitue des couches minces, parfaitement régulières; et partout ses variétés sont fusibles

---

(1) *Compt. rend.*, vol. I, p. 353. 1835. — *Mémoires pour servir à une description géologique de la France*, vol. IV, p. 227. 1838. (C'est à cette publication que se rapporte la pagination indiquée dans le courant de l'analyse.) — *Ann. des mines*, 3ᵉ sér., vol. XI, p. 113-369 et 389. 1837. — M. Dufrénoy a fait exécuter en outre un relief du groupe du Vésuve qui est d'une grande exactitude, et qui facilite beaucoup l'intelligence du mode de formation de cette montagne.

Digitized by Google

en émail blanc, transparent et celluleux. La présence de lits de galets dans certains endroits et de coquilles marines identiques pour la plupart avec les espèces vivantes et avec celles des collines subapennines ne permet pas de douter que le tuf ponceux de la Campanie ne soit un dépôt sédimentaire. Les coquilles signalées par M. L. Pilla dans le tuf de la Somma (voy. *posteà*), et qui sont semblables à celles d'Ischia, ainsi que les ossements de mammifères trouvés dans le tuf de Sorrente, sembleraient en outre rapprocher ces dépôts du tuf des environs de Rome, dans lequel des os de baleine, d'éléphant et d'hippopotame ont été découverts.

L'âge du tuf ponceux ne paraît pas être d'ailleurs très nettement indiqué ; mais en considérant que M. Élie de Beaumont est porté à admettre un soulèvement postérieur à celui de la chaîne principale des Alpes, et qui aurait agi sur le Vésuve, l'Etna, Stromboli, les Champs-Phlégréens, etc. (p. 255), M. Dufrénoy regarde comme probable que le tuf ponceux, moins ancien que les marnes subapennines, pourrait bien appartenir à l'époque de ces nombreuses plages soulevées dont nous parlerons plus tard, et même être plus récent que le grand dépôt de transport diluvien. C'est d'ailleurs un sujet sur lequel nous reviendrons plus en détail dans le volume suivant.

Le tuf ponceux a été redressé par les trachytes dans l'île de Nisita, au cap Misène et à l'île de Procida (1). A la Solfatare, à Astroni et à Pianura, le trachyte forme le noyau même des collines, et le tuf se relève tout autour. L'Epoméo, dans l'île d'Ischia, et les îles Ponce offrent aussi une disposition analogue. Mais d'autres mouvements ont encore agi sur ces couches : ce sont ceux de la période actuelle, dont les preuves nous sont données par les colonnes du temple de Sérapis et les constructions romaines situées en face de Punta-Giulio (2). Ces dernières se trouvent actuellement au niveau de la mer, et sont surmontées par un dépôt de transport bien stratifié et de 6 à 7 mètres d'épaisseur. Outre que les causes actuelles ne peuvent rendre compte de sa formation, on doit remarquer que sa hauteur correspondrait précisément à celle de la portion des colonnes du temple de Sérapis qui a été submergée ; et la dernière oscillation du sol de

(1) Voyez Léon. Porta, *Discorso pronunziato*, etc. Discours prononcé au congrès des savants italiens réunis à Naples en 1845.

(2) Voyez *posteà*, chap. V, les documents et les discussions qui se rattachent aux mouvements du sol du temple de Sérapis et des côtes voisines.

Digitized by Google

la Campanie, qui a élevé la côte de 7m,50 et ramené au jour la base de ces mêmes colonnes, serait contemporaine de l'apparition du Monte-Nuovo en 1538.

Champs-Phlégréens.

Les collines des Champs-Phlégréens sont pour la plupart coniques et isolées, formant dans leur ensemble des lignes dirigées E. 20° N. à O. 20° S. Celle des Camaldoli, qui est la plus étendue et la plus élevée, atteint 501 mètres d'altitude. Toutes les couches se relèvent vers un centre qu'occupe la vallée de Pianura, et le trachyte se voit à la base de l'escarpement intérieur. Astroni est aussi une colline de soulèvement dont les pentes, peu inclinées au dehors, sont très escarpées au dedans, et qui présente, vers son milieu, un culot trachytique : aussi ce cratère a-t-il une ressemblance complète avec Santorin et le Cantal.

A la Solfatare le trachyte a l'aspect d'un conglomérat. La plus grande partie du soufre que l'on exploite provient de la distillation des terres argileuses qui constituent le fond du cratère. Il y a été déposé et peut-être s'y dépose-t-il encore par suite du dégagement des vapeurs aqueuses qui le traversent, et qui sont chargées d'acide sulfurique Le soufre se trouve en petits filons pénétrant la masse dans tous les sens. On l'exploite par des puits qui s'arrêtent à la profondeur de 13 mètres, la chaleur ne permettant pas de descendre plus bas. L'état actuel de la Solfatare paraît remonter à l'époque même de l'éruption trachytique (1).

Le trachyte de la Punta-Negra, qui semble appartenir à celui de l'intérieur de la Solfatare, recouvre le tuf et y pénètre en filon. C'est d'ailleurs le même que le *piperno* de Pianura, présentant, comme ce dernier, des taches foncées parsemées de cristaux de feldspath. Ainsi le tuf déposé horizontalement dans toute la Campanie a été soulevé par le trachyte des Champs-Phlégréens, quoique celui-ci ne se montre point partout à la surface du sol.

Le Monte-Nuovo est aussi un cône de tuf ponceux régulièrement stratifié, dont les couches se relèvent vers le centre et sont recouvertes de scories du côté de Pouzzoles. Il a été formé, comme les collines précédentes, par le soulèvement du tuf, ainsi que le confirme le témoignage des contemporains. Mais les monuments romains qui se trouvent dans le voisinage et au pied même de la montagne n'ayant point été endommagés, M. Dufrénoy pense

(1) Lyell, *Principles of geology*, 1830. — Voyez aussi : *Id.*, 6e édit., vol. II, p. 158, où M. Lyell rapporte divers documents sur ce sujet. — R.-A. Philippi (*Neu. Jahrb.*, 1841, p. 59-69).

Digitized by Google

qu'il y avait eu déjà sur ce point un premier soulèvement, à l'époque des trachytes, et que celui de 1538, qui a été suivi d'éruptions de gaz et de scories, est un second phénomène dont les résultats se sont ajoutés à ceux du premier.

L'origine du Monte-Nuovo a été longtemps un sujet de discussion : ainsi M. Lyell, qui avait étudié cette colline en 1828, la regardait comme le résultat de l'accumulation de scories et de cendres rejetées du cratère. D'un autre côté, la relation de Porzio, auteur contemporain, avait été interprétée diversement : aussi la lettre de Francesco del Nero, adressée à Nicolo del Benino, lettre publiée récemment par M. Haagen von Mathiesen (1), d'après un manuscrit trouvé dans la bibliothèque du marquis Capponi, présente-t-elle un véritable intérêt.

On y lit que le 28 septembre (1538), à midi, le fond de la mer près de Pouzzoles fut mis à sec, sur une étendue de 600 brasses (1,300 mètres), et que les habitants de la ville purent charger des voitures avec les poissons restés sur la plage. Le jour suivant, à huit heures du matin, le sol s'enfonça de 2 cannes (4^m,14), à l'endroit où se trouve actuellement l'orifice volcanique, et il en sortit un courant d'eau d'abord froide et ensuite tiède. Vers midi le sol commença à se soulever tellement qu'au point même où il s'était enfoncé quatre heures auparavant il parut aussi élevé que le Monte Ruosi, c'est-à-dire à la hauteur où se trouve la petite tour qu'on y a bâtie. A peu près au même moment le feu sortit et forma un grand abîme avec une telle force, bruit et lumière, dit le témoin oculaire, que moi qui étais dans mon jardin, je fus saisi d'une profonde terreur. Il ajoute que beaucoup de pierres et de terre furent rejetées ensuite avec le feu souterrain, qu'elles s'accumulèrent autour de l'orifice en si grande quantité que du côté de la mer elles formèrent un massif arqué, dont la courbure avait 1 mille et demi de long et la flèche deux tiers de mille. Vers Pouzzoles ces matériaux ont formé une colline presque aussi élevée que le Monte Morello, et, sur un espace de 70 milles aux environs, la terre et les arbres furent couverts de cendres. Quant à l'explication du phénomène, Francesco del Nero renvoie à Simon Porzio, qui en effet en rendit compte au vice-roi.

---

(1) *Ueber die Entstehung des Monte Nuovo*, etc. Sur l'origine du Monte-Nuovo (*Neu. Jahrb.*, n° 6, p. 586. 1846. — *Quart. Journ. geol. Soc. of London*, vol. IV, n° 9, fév. 1847, p. 20 des Notices).

Digitized by Google

Groupe du Vésuve.

Le groupe du Vésuve, dit M. Dufrénoy (p. 284), se compose de deux parties distinctes : l'une, conique et assez aiguë, occupe le centre, c'est le Vésuve proprement dit ; l'autre forme une enceinte demi-circulaire qui entoure la moitié nord du volcan, c'est la Somma : aussi les éruptions du Vésuve se font-elles presque toujours au sud. La base du groupe a une circonférence d'environ 35 kilomètres, et sa hauteur est de 1198 mètres (1). Les roches qui forment les escarpements de la Somma sont composées de cristaux d'amphigène, de pyroxène noir, de labradorite et de nodules rares de péridot. Les laves du Vésuve, scoriacées, compactes ou cristallines, renferment des grains arrondis, pris à tort pour de l'amphigène, et semblent contenir principalement des cristaux du genre feldspath, mais différents de l'orthose, de l'albite et du labradorite. Il y a, en outre, des cristaux de pyroxène vert, quelques nodules de péridot et un peu de mica. Toutes les roches de la Somma sont cristallines comme le granite et le trachyte ; celles du Vésuve, au contraire, sont presque toujours scoriacées.

La Somma.

La Somma présente une double pente. La première, plus douce que l'inclinaison générale, se prolonge jusqu'à la hauteur du *Plano*. Le tuf ponceux de la plaine de Naples règne sur le pourtour d'une manière continue, et des lambeaux détachés se voient sur la pente supérieure. Le tuf est blanc et recouvert de vignes, tandis qu'il n'existe au-dessus que quelques châtaigneraies. L'inclinaison du tuf ne dépasse pas 10° ; celle des nappes de la Somma atteint 25 à 30° ; mais l'auteur fait voir qu'il n'en résulte pas nécessairement une différence de stratification. Le tuf, outre la ponce qui le constitue, renferme beaucoup de fragments des laves de la Somma, des blocs de roche d'apparence ancienne et où se trouvent les minéraux que l'on indique ordinairement comme rejetés du Vésuve. Le tuf alterne avec des couches régulièrement stratifiées et présente tous les caractères d'un terrain de sédiment.

Des fragments de calcaire recouverts de Serpules intactes prouvent encore que ces couches se sont formées sous une certaine profondeur d'eau et qu'elles ont été portées ensuite dans leur position actuelle. D'autres calcaires compactes, avec des fossiles de l'époque

(1) Cette hauteur varie par suite des changements qui surviennent dans la forme des parois du cratère. D'après M. Cangiano (*Compt. rend.*, vol. XXII, p. 736), la hauteur absolue du cône du Vésuve, le 31 mars 1846, était de 1,196 mètres, et celle de la Punta-del-Palo de 1,203 mètres.

Digitized by Google

secondaire, puis des coquilles tertiaires, se rencontrent aussi dans le tuf; mais ni ces diverses roches, ni les fossiles qu'elles renferment n'ont encore été observés en place dans le pays environnant. Des coquilles tertiaires isolées et semblables à celles d'Ischia ont été recueillies, à la vérité, par M. L. Pilla; mais elles appartiennent au dépôt même du tuf, dont elles indiquent l'âge, tandis que les précédentes lui sont certainement étrangères.

La pente extérieure de la Somma est indiquée par celle des nappes dont les tranches viennent affleurer dans l'escarpement intérieur. Les diverses coulées sont de nature presque identique et ne diffèrent que par la grosseur des cristaux, leur abondance et la compacité de la pâte. Dès que les couches ont de 0,60 à 0,80 d'épaisseur, elles sont cristallines et granitoïdes, mais il est rare qu'elles aient moins de 2 mètres. La Somma, en un mot, constitue une surface conique régulière, dans laquelle la génératrice forme avez l'horizon un angle de 26°. Or, la régularité de cette inclinaison dont la direction varie d'un point à un autre, et le parallélisme exact des plans des couches ne peuvent s'expliquer par l'épanchement de nappes liquides qui se seraient solidifiées à mesure qu'elles avançaient.

De nombreux filons traversent le massif de la montagne, mais ils atteignent rarement la crête de l'escarpement. Ce sont sans doute les fentes par lesquelles se sont élevées les matières liquides qui ont ensuite formé les nappes en s'épanchant et en se refroidissant. Une fissure beaucoup plus grande et remplie par un tuf scoriacé, assez analogue aux laves du Vésuve, paraît être due à un déchirement qui remonterait à l'époque du soulèvement de la Somma. Tous les autres filons sont composés d'une roche semblable à celle des nappes, quoique plus compacte.

Ainsi le tuf ponceux, dont on retrouve des lambeaux jusque près de la crête, n'a pu être déposé que sous les eaux et après la formation des laves de la Somma, puisqu'on y trouve de nombreux fragments de ces mêmes laves. D'un autre côté, l'état cristallin de celles-ci, leur parallélisme et leur continuité ne permettant pas de penser qu'elles aient été formées dans leur position actuelle, il faut donc admettre que ces laves ont coulé et se sont refroidies sur une surface presque horizontale, qu'elles ont été recouvertes ensuite par les couches de tuf déposées sous l'eau, et qu'enfin un soulèvement a redressé le tout comme nous le voyons aujourd'hui. Quant aux blocs de calcaire saccharoïde, de roches micacées ou d'autres provenant

Digitized by Google

de divers terrains, ils appartiennent au tuf ponceux et surtout à ses assises inférieures.

Le Vésuve. Le Vésuve proprement dit date seulement de l'éruption de 79. La hauteur actuelle du cône au-dessus du *Piane* qui forme sa base est de 535 mètres, et son élévation au-dessus de la mer est de 1185 mètres (1). La pente, à peu près uniforme partout, est de 33°. Elle diminue vers sa partie inférieure, se raccorde avec celle du Piane, puis avec celle de la Somma formée par le tuf, et enfin devient nulle au pied de la montagne. Les laves sont partout identiques, quelle que soit leur ancienneté; et leurs caractères extérieurs très uniformes ne varient qu'avec l'inclinaison sous laquelle le refroidissement a eu lieu.

Lorsque les laves se sont refroidies lentement (le Granatello, la Scala, Torre-del-Greco, etc.), la masse est presque entièrement cristalline. Le plus ordinairement elle est fragmentaire et scoriacée. La coulée *del Mauro* (1818) est en partie vitreuse. Les cendres renferment les mêmes éléments que la lave, et résultent de ce que la matière en fusion, au lieu d'arriver liquide à la surface, s'est solidifiée dans l'intérieur du cratère à l'état de sable fin, puis a été soulevée et emportée par les dégagements de gaz. Les blocs rejetés par les éruptions sont quelquefois très considérables et composés aussi des mêmes éléments que les laves, mais vitreux et cristallins comme des trachytes.

Les éruptions ont plus souvent lieu par des bouches qui s'ouvrent sur les flancs, ou même au pied de la montagne, que par le cratère du sommet; mais alors il se forme plusieurs ouvertures placées en ligne droite et reliées les unes aux autres par une fente dans laquelle la lave se solidifie après l'éruption. Ce mode de déversement est semblable à celui des coulées de la Somma, où l'on voit les filons se terminer successivement aux différentes assises qu'ils ont produites.

Après avoir fait remarquer que les cônes formés lors des éruptions de 1760 et de 1834 sont dus à un soulèvement du sol préexistant et non à l'accumulation seule des laves rejetées, ou des scories et des cendres, M. Dufrénoy examine la largeur comparative des coulées, et trouve qu'en moyenne cette largeur ne dépasse pas $\frac{1}{100}$ du cercle correspondant. Quant à leur épaisseur, dans les circonstances les plus favorables, c'est-à-dire lorsque la pente du

---

(1) Voyez la note, *antè*, p. 504.

Digitized by Google

sol est la plus faible, elle atteint à peine 5 mètres; et cette épaisseur, qui est constante pour des inclinaisons égales, prouve que la lave du volcan a généralement le même degré de fluidité.

Le savant académicien s'occupe ensuite de la manière dont coulent les laves et de leur mouvement, puis des fumerolles qui s'en échappent et qui dégagent de l'acide carbonique, de l'acide muriatique, du sel marin et de l'eau, mais point de soufre; l'efflorescence jaune que l'on a quelquefois prise pour cette substance est un sous-muriate de fer. Passant à la texture de la lave, il fait voir que celle-ci est constamment fragmentaire, tant que le sol qu'elle recouvre a une inclinaison de plus de 2°. Sur une pente plus faible et lorsque la lave est en assez grande quantité, la texture devient cristalline, mais la surface est encore scoriacée. Sur des pentes supérieures à 4° les coulées ne sont que des agglomérations de fragments incohérents.

Les produits des éruptions de 1767, 1794, 1810, etc., peuvent servir à établir la relation de la texture des laves avec l'inclinaison du plan sur lequel elles ont coulé. Les laves cristallines du Granatello et d'autres localités, où elles se sont refroidies horizontalement, ont la même composition, laquelle diffère encore de celle des nappes de la Somma, qui, à leur tour, ne présentent pas non plus les fissures des laves modernes. Dans les dépressions du sol où ces dernières sont assez épaisses, elles tendent à prendre une structure colomnaire; telles sont celles de la Scala et du *Fosso-Grande*. Or, les trachytes et les basaltes du Cantal ont des pentes de 9 à 10°, et cependant ils sont constamment compactes et cristallins; les laves de la Somma, dont la texture est celle d'un porphyre amphigénique, atteignent des pentes générales de 20 à 25° : ainsi l'on trouve, dans la seule comparaison de la texture des roches, de puissants motifs pour regarder ces deux derniers massifs comme ayant été soulevés depuis leur formation.

Ensevelissement d'Herculanum et de Pompeï.

L'une des circonstances les plus remarquables qui, après un si long repos, ont signalé le réveil du volcan dont M. Dufrénoy nous a si parfaitement retracé les divers phénomènes, est, sans aucun doute, l'ensevelissement d'Herculanum et de Pompeï, à la suite de l'éruption de 79 : aussi la manière dont cet ensevelissement a eu lieu ne pouvait-elle manquer d'appeler l'attention de ce savant géologue et de provoquer de sa part des recherches sur un sujet intéressant à plus d'un titre.

Il explique (p. 344) le silence de Pline à cet égard, silence qui

Digitized by Google

a fait émettre des doutes sur l'époque de la catastrophe dont ces deux villes furent frappées, en supposant un enfouissement successif qui aurait été en partie le résultat d'alluvions boueuses occasionnées par les phénomènes volcaniques. On regarde à tort Pompeï comme ensevelie sous une pluie de cendres, et Herculanum comme recouverte par une coulée de lave. Les tufs qui les enveloppent l'une et l'autre sont composés des mêmes éléments, et les différences de la texture et de la grosseur de ceux-ci tiennent à la distance relative et peut-être plus encore à la position de ces deux villes par rapport au volcan. On ne voit de coulées de lave ni dans l'une ni dans l'autre, et les cendres proprement dites paraissent n'avoir joué qu'un faible rôle quant à l'exhaussement du sol.

Si l'on compare à la marche des dunes de sable celle qu'auraient suivie les cendres, en admettant qu'elles aient été la cause de l'ensevelissement, on verra que les effets sont tout à fait différents. Ainsi, le remplissage et le moulage complet de toutes les cavités des habitations et des monuments, des caves même dont les voûtes sont restées intactes, prouvent que les matières ont été introduites par un liquide qui les tenait en suspension et les y a laissées en se retirant. Le déssèchement et le tassement qui sont venus ensuite ont produit le tuf compacte et homogène qu'on y trouve aujourd'hui. Des éboulements, causés par l'éruption même, paraissent avoir fourni la matière pulvérulente entraînée plus tard dans les maisons par l'action prolongée des eaux. L'émigration des habitants aurait été déterminée par la pluie brûlante qui, au rapport de Pline, n'a cessé de tomber pendant quatre jours et quatre nuits, tandis que l'ensevelissement proprement dit serait le résultat du concours des deux causes précédentes.

Les masses terreuses qui recouvrent ces villes sont en effet composées d'éléments étrangers au Vésuve lui-même. Ce sont des débris du tuf des environs de Naples, lequel, comme on l'a vu, constitue aussi les contre-forts du volcan et s'élève presque jusqu'à la crête de la Somma. A Pompeï, l'épaisseur de la couche est généralement de 5^{m},20, mais elle a été probablement plus grande. Les maisons et les édifices ont été complétement recouverts; l'amphithéâtre seul paraît encore, à quelques pieds au-dessus du dépôt moderne. La stratification évidente de cette masse ne permet pas d'ailleurs de penser qu'elle ait pu être formée autrement que par les eaux. A Herculanum, la masse atteint jusqu'à 36^{m},40 d'épaisseur dans certains endroits, mais dans ceux où l'on exécute aujour-

Digitized by Google

d'hui (1834) les travaux de déblai à ciel ouvert, elle n'a que 9m,70 à 13 mètres. Le tuf est stratifié et semblable à celui de Pompeï, quoique plus compacte à cause de sa puissance. Ni l'un ni l'autre n'ont de rapport minéralogique avec les cendres ni avec aucun des produits modernes du Vésuve. Ainsi les tufs d'Herculanum et de Pompeï, comme ceux des Champs-Phlégréens et de la Somma, sont à base de potasse, tandis que les substances rejetées par le volcan sont à base de soude.

Enfin, dit, en terminant, M. Dufrénoy, le cône actuel du Vésuve n'existait probablement pas avant l'éruption de 79, qui se distingue de toutes les autres par le développement extraordinaire des phénomènes volcaniques, et parce qu'aucune lave ne paraît s'être écoulée à cette époque. L'éruption aurait été le résultat du dégagement d'une grande quantité de gaz qui, s'échappant sous une forte pression, ont soulevé la surface et ont donné naissance en grande partie au cône du Vésuve. Les effets de cette catastrophe, s'étant manifestés avec plus d'énergie au sud qu'au nord, auront produit, sur le premier de ces côtés, l'éboulement sous lequel ont disparu les deux villes les plus populeuses et les plus civilisées de la Campanie (1).

Nous passerons actuellement à l'examen de quelques publications plus récentes, qui se rapportent encore à l'ensemble du volcan dont nous venons de nous occuper; puis nous mentionnerons les relations des diverses éruptions qui ont eu lieu dans ces derniers temps, et nous terminerons par l'étude minéralogique et chimique de leurs produits. Travaux divers relatifs au Vésuve.

M. H. Abich a publié des *Vues illustratives de quelques phénomènes géologiques, prises sur le Vésuve et sur l'Etna* (2). Cet ouvrage, qui n'est en quelque sorte qu'un beau spécimen des travaux de l'auteur sur ce double sujet, sera consulté avec beaucoup d'intérêt par les géologues qui voudront étudier ces volcans, comme

(1) D'après M. Ehrenberg (*Acad. des sc. de Berlin*, avril 1845. — *L'Institut*, 27 août 1845, p. 308), les cendres qui ont englouti Pompeï seraient de formation d'eau douce. L'eau de la mer et le sol qui en constitue le fond auraient aussi été complétement étrangers aux cendres rejetées par le volcan depuis les temps historiques. Ces cendres, par leurs caractères généraux, sont semblables à celles du tufa de Hochsimmer, sur le Rhin. — Voyez aussi : A. Scacchi, *Osservazioni critiche*, etc. Observations critiques sur la manière dont fut ensevelie l'ancienne Pompeï, in-8. Naples, 1844.

(2) In-fol., 10 planches, avec texte explicatif. Paris, 1836.

Digitized by Google

par les personnes qui désireraient seulement prendre une idée nette de leurs caractères généraux. Les planches qui accompagnent le second ouvrage de l'auteur (1) en font aussi un complément précieux.

M. Rozet (2), qui a étudié le massif du Vésuve en 1843, a d'abord constaté l'exactitude des faits et des opinions que nous venons de rapporter, puis il a conclu de ses propres observations que le sol de la Campanie était formé par un tuf ponceux, sous lequel se trouvent les calcaires de Sorrente et de l'île de Caprée, qui appartiennent à la formation crétacée. Le tuf ponceux se divise en deux étages : le premier est composé d'une roche semblable aux conglomérats et aux tufs trachytiques de l'Auvergne, et le second d'un dépôt marin stratifié, formé en grande partie aux dépens de la masse inférieure.

Le tuf ponceux a été très bouleversé. Les traces de dislocation les plus nombreuses et les plus prononcées sont de vastes cirques réunis dans les Champs-Phlégréens, et qui doivent résulter de l'action puissante de masses gazeuses concentrées près de la surface du sol dans lequel elles ont d'abord déterminé de véritables ampoules. Ces dernières ayant crevé par l'augmentation de la pression, leurs débris ont été lancés dans tous les sens, et c'est ainsi qu'Herculanum et Pompeï auraient été ensevelies sous l'accumulation des fragments de la partie supérieure du volcan.

Il y a en outre, dit M. Rozet, les plus grands rapports entre les caractères que présentent les coulées du Vésuve et ceux des *cheires* de l'Auvergne, et ce qui se passe actuellement à la Solfatare peut expliquer la formation des domites du centre de la France. Les bouleversements modernes du sol des environs de Naples ont eu sans doute leur origine à une faible profondeur, puisqu'ils se sont propagés sur des espaces peu étendus, et que les édifices, bâtis au pied des montagnes qui se sont élevées alors, et même les statues dont ils étaient ornés, n'ont point été renversés.

Le cône aigu du Vésuve ne doit pas non plus son existence à l'accumulation seule des matières rejetées par sa cavité intérieure, mais une action de bas en haut a eu sans doute une grande influence

(1) *Geologische Beobachtungen*, etc. Brunswick, 1841.

(2) *Mémoire sur les volcans d'Italie* (*Mém. de la Soc. géol. de France*, 2e sér., vol. I, p. 131. 1844. — *Bull. id.*, 2e sér. vol. I. p. 255. 1844).

Digitized by Google

sur sa formation, et la Somma, comme l'avait prouvé M. Dufrénoy, est aussi pour M. Rozet le résultat d'un soulèvement antérieur aux temps historiques (1).

M. Constant Prévost (2) a décrit l'aspect que présentait le cratère du Vésuve au mois de mars 1832. Quelques années auparavant, cette cavité avait plus de 227 mètres de profondeur; mais elle était alors remplie, jusqu'au bord, de laves et de cendres dont l'accumulation avait formé une vaste plaine ondulée et tourmentée à la surface, comme l'est celle d'un fleuve couvert de glaces arrêtées. Éruptions du Vésuve.

Dans le mémoire dont nous avons déjà donné l'analyse, M. Dufrénoy a signalé quelques circonstances particulières de l'éruption du 28 août 1834 (3). « Cette éruption, dit-il, s'est d'abord fait » jour sur le flanc E. du cône, aux deux tiers environ de sa » hauteur; plusieurs petites bouches se sont ensuite ouvertes au » pied même du cône, dans l'espèce de plaine qui le sépare des » escarpements de la Somma et que l'on désigne dans cette partie » sous le nom de *Canal dell' inferno*. Ces différentes bouches sont » reliées par une traînée de laves qui paraissent être sorties d'une » fente, et l'ensemble de ces ouvertures forme une ligne sensible» ment droite qui court E. 20° S. à O. 20° N. Cette disposition » remarquable s'est présentée dans plusieurs autres éruptions. »

M. J.-D. Dana (4) a publié quelques observations sur l'état du Vésuve au mois de juillet de la même année, et M. C. Daubeny (5) a fait connaître, d'après M. Monticelli, les circonstances qui ont accompagné l'éruption du mois d'août, ainsi que ses propres re-

---

(1) Voyez aussi : Auldjo, *Sketches of Vesuvius*. Esquisses du Vésuve. Londres, 1833. — Cap. Hall, *Patchwork*, etc., vol. III. 1841. — Philippi, *Relief du Vésuve et des environs de Naples*. Cassel, 1842. — A. Scacchi, *Notizie geologiche*. Notices géologiques sur les volcans de la Campanie, in-8. Naples, 1844.

(2) *Notes sur l'île Julia* (*Mém. de la Soc. géol. de France*, vol. II, p. 110. 1835).

(3) *Mém. pour servir à une descript. géol. de la France*, vol. IV, p. 316-319.

(4) *Amer. Journ.*, vol. XXVII, p. 281. 1835.

(5) *Some account of the eruption*, etc. Note sur l'éruption du Vésuve qui eut lieu au mois d'août 1834, etc. (*Phil. Transact. roy. Soc. of London*, part. I, p. 153. 1835). — Voyez aussi : *On the volcanic strata*, etc. Sur les roches volcaniques mises à découvert dans une coupe faite à la nouvelle source thermale, près de Torre dell' Annunziata (*Proceed. geol. Soc. of London*. — *Edinb. new phil. Journ.*, vol. XIX, p. 221. 1835).

Digitized by Google

cherches sur les produits gazeux de cette même éruption. La présence de l'ammoniaque qu'il a constatée vient appuyer l'opinion qu'il avait déjà émise que l'eau et l'air atmosphérique parviennent jusqu'au foyer volcanique et sont privés de leur oxygène par les principes qui s'y trouvent ; l'azote et l'hydrogène se dégagent ensuite, tantôt isolément, tantôt combinés sous forme d'ammoniaque.

M. L. Pilla (1), qui a suivi pendant longtemps la marche des phénomènes du Vésuve, a décrit fort en détail les éruptions de 1834, à la suite desquelles le cône intérieur qui s'était formé en 1831, et qui s'était augmenté par les éruptions successives, fut détruit presque complétement. Les dessins joints à cette note, et qui ont été reproduits ailleurs (2), font voir (p. 232) qu'après l'effondrement du cône il resta, dans sa partie occidentale, des portions de talus formées par des assises de laves. Celles-ci paraissent se ployer comme si elles avaient été d'abord déposées horizontalement, puis relevées en un point central ; et leur disposition, dit M. Pilla, ressemble à celle d'un cratère de soulèvement, quoiqu'il soit certain qu'elle résulte de l'accumulation des laves depuis 1831. Ce qui compléterait, ajoute-t-il, l'analogie avec les phénomènes plus anciens du Val-del-Bove à l'Etna, c'est qu'il y a, dans cette même partie, des filons de lave, injectés et coupant les couches produites par l'accumulation successive. Ne pourrait-on pas, continue-t-il encore, voir ici un effondrement qui représenterait en petit celui du Val-del-Bove, et en même temps une probabilité pour attribuer aux laves anciennes de l'Etna une disposition originaire semblable ou une accumulation conoïde, au lieu d'une éruption dans une dépression qui aurait été soulevée ensuite?

Dans la relation des excursions qu'il fit quelques jours après l'éruption, on voit (p. 249) que le sel ammoniac s'était formé seulement dans la partie du torrent de lave étendue sur les endroits cultivés du sol, et l'auteur l'attribue à l'acide hydrochlorique dégagé de la lave incandescente, lequel réagit sur les matières animales et particulièrement sur le fumier des terres cultivées que ces laves envahissent. Ce sel, comme il le dit d'ailleurs, se rencontre également dans d'autres foyers volcaniques,

(1) *Bullettino geol. del Vesuvio*, etc. Bulletin géologique du Vésuve, qui fait suite au *Spettatore del Vesuvio*, cah. 2, n° 1. 1834. — *Vingtième voyage au Vésuve, le 21 et le 22 août* (*Il Progresso delle scienze*, etc., vol. XVI, p. 223. Naples, 1837).

(2) Dufrénoy, *loc. cit.*, pl. VIII, fig. 4, 5, 6.

Digitized by Google

sans que l'on puisse lui assigner une origine organique semblable.

Plus tard, le même géologue a décrit de nouveau l'aspect de la cavité qui remplaça le cône d'éruption abîmé dans l'intérieur du volcan (1). Cette cavité était divisée en deux parties, l'une à l'E. de 100 mètres de profondeur, et l'autre à l'O. d'environ 200 mètres et présentant sur un de ses bords une sorte de crête, reste du cône détruit. La paroi interne de cette portion de cône dont nous avons déjà parlé était composée d'une multitude de couches de laves superposées, ayant une stratification assez distincte et inclinée. Elles alternaient avec des lits de conglomérats, de scories et de fragments de laves, et se trouvaient en outre coupées par un puissant filon de lave qui les avait relevées, tandis qu'à une certaine distance elles étaient demeurées presque horizontales. Ce filon avait $3^m,20$ d'épaisseur; sa tête formait une saillie vers le haut de l'escarpement, et sa base était cachée sous les débris de la muraille volcanique détruite. Les couches de laves étaient en outre fendillées perpendiculairement aux plans de leur surface.

L'ensemble de la cavité avait, à l'E. et à l'O., des caractères en rapport avec la disposition et la compositon du sol avant son effondrement. La partie occupée par le grand cône d'éruption ne présentait que des amas de scories et de cendres; l'autre, supportant la ligne des petits cônes, était formée de couches de laves superposées. Quant au filon indiqué ci-dessus, il se trouvait précisément à l'endroit où, deux mois auparavant, s'était formé le cône par l'ouverture duquel l'éruption avait eu lieu, et qui avait été produit dans cette même éruption du mois de juillet. Aussi, dit M. Pilla, la paroi occidentale du gouffre ayant une structure tout à fait semblable à celle que l'on observe dans la paroi interne du Vésuve et de la Somma, on en peut conclure que leur mode de formation a dû être le même.

Ainsi l'auteur qui, pendant plusieurs années, avait fait une étude si scrupuleuse du Vésuve, ne paraissait pas admettre alors que son ancien massif pùt être le résultat d'un soulèvement en masse, postérieur à sa formation, et il soupçonnait, en outre, qu'il en était de même du Val-del-Bove dont nous parlerons bientôt. Cette

---

(1) 23^a*gita al Vesuvio nella notte di* 13 *a* 14 *sept.* 1834. Vingt-troisième voyage au Vésuve dans la nuit du 13 au 14 septembre 1834 (*Il Progress. delle sci.*, etc. n^e ser., n° 38, p. 230, 1838.— *Spettatore del Vesuvio*, fasc. XI, p. 20).

Digitized by Google

manière de voir était par conséquent opposée à celle de MM. Dufrénoy et Rozet, tant pour le massif ancien que pour une partie du cône moderne.

Une observation curieuse que l'on doit aussi à M. Pilla est celle de la production des flammes pendant les éruptions de 1833 et 1834 (1). Jusque là on avait nié qu'il pût y en avoir. Mais étant monté, dans la nuit du 2 juin 1833, sur un cône de scories, situé dans le fond du cratère et pendant qu'il était en éruption, ce géologue remarqua, dans le moment même de l'explosion et après un grand bruit et une secousse très violente, une colonne de fumée noire et fuligineuse accompagnée d'un énorme torrent de substances gazeuses enflammées et de pierres également enflammées qui retombaient en partie dans le gouffre et en partie au dehors. La flamme s'élevait de 4 à 5 mètres, puis disparaissait au milieu de tourbillons de fumée; de sorte qu'étant placé au niveau du bord du cratère, on n'aurait pas pu l'apercevoir; et comme on observe toujours les éruptions à une certaine distance, on comprend pourquoi l'existence des flammes a pu être longtemps révoquée en doute.

Ces flammes étaient d'un rouge violet et produites par les gaz qui s'enflammaient au contact de l'air. Elles brûlaient seulement à la circonférence de la colonne, dont l'intérieur était obscur, présentant ainsi en grand ce que la flamme d'une lampe nous offre en petit. Après l'explosion, des flammes isolées restèrent encore au fond du gouffre, se mouvant lentement autour de l'ouverture et sur les parois de l'entonnoir, semblables, dit l'auteur qui constatait ces faits au péril de sa vie, à la flamme de l'alcool brûlé dans une capsule. Elles avaient alors une belle teinte violette, et une odeur peu sensible d'hydrogène sulfuré accompagnait le phénomène. Des flammes semblables furent encore observées le 7 juin 1834 et au mois d'août de la même année.

Elles ne se manifestent que lorsque l'action volcanique est énergique et qu'elle est accompagnée de substances gazeuses à grande tension. Leur apparition a toujours lieu lors des explosions de la bouche principale; seulement des circonstances favorables sont nécessaires pour qu'on puisse les apercevoir. Elles se produisent aussi dans les petits cônes en activité, formés à l'intérieur du cratère ou

(1) *Bull.*, vol. VIII, p. 262. 1837. — *Compt. rend.*, vol. XVII, p. 889. 1843.

Digitized by Google

au pied du volcan ; enfin, elles ne se font voir que dans les ouvertures en communication directe avec le foyer volcanique et jamais sur les laves en mouvement éloignées de leur source (1).

La relation de l'éruption du 1er janvier 1839 a été aussi donnée par M. Pilla (2), qui ajoute (p. 35) que dans les laves du Vésuve, comme dans celles de la Somma, l'amphigène et le pyroxène sont toujours les substances composantes essentielles, tandis que l'albite, le labradorite et l'anorthite ne s'y trouvent qu'accidentellement. Quant à la différence que présente l'amphigène de la Somma avec celui des laves modernes, on peut l'attribuer aux conditions particulières dans lesquelles les roches de la Somma se sont épanchées et au temps qui a dû changer ou modifier les formes du minéral ; mais, outre que cette dernière supposition nous paraît peu vraisemblable, nous ferons remarquer qu'elle est tout à fait contraire à l'opinion de M. Dufrénoy qui ne regarde pas les grains blancs des laves modernes comme de l'amphigène (*antè* p. 504 et *posteà*) (3). Enfin, M. Rozet a décrit avec beaucoup de précision la

(1) Lors de cette communication à l'Académie des sciences, Bory de St-Vincent a rappelé que dans son voyage aux quatre îles des mers d'Afrique, dont la relation a été publiée en 1804, il avait signalé (vol. II, p. 247-248) l'existence de flammes bleuâtres, semblables à celles de l'esprit de vin, et qui ne se font voir que dans les ouvertures directement en communication avec les fissures volcaniques, et jamais sur les courants de lave, même près de leur origine (*Compt. rend.*, vol. XVII, p. 936. 1843). M. J. D. Forbes a observé aussi des flammes bleuâtres dans les éruptions du Vésuve en 1843 et 1844 (*Bibl. univ. de Genève*, vol. LV, p. 339. 1845).

(2) *Relazione dei fenomeni avvenuti nel Vesuvio*, etc. Relation des phénomènes qui ont eu lieu au Vésuve dans les premiers jours de l'année 1839 (*Il Progresso delle sc.*, etc., n° 43, p. 28. 1839). — Voyez aussi : *Foglio settimanile d. sc. litt. ed arti*, n° 3. — *Compt. rend.*, vol. VIII, p. 250. 1839. — Tenore, *Bull.*, vol. X, p. 166. 1839.

(3) M. R.-A. Philippi (*Neu. Jahrb.*, 1841, p. 59) a décrit aussi l'éruption du 1er janvier 1839, qui a été accompagnée par la sortie d'une grande quantité de lapilli, quantité qu'il évalue à 1/20 du massif du Monte-Nuovo. — Voyez encore, pour les éruptions du Vésuve en mai 1834 : (*Neu. Jahrb*, 1835, p. 490) ; — les 22 et 28 août 1834 (*Ibid.*, p. 551) ; — du 15 mars 1835 (*Ibid.*, 1836, p. 384) ; — note de M. L. Pilla sur la même (*Ibid.*, 1835, p. 454-455) ; *Id.*, sur celle de janvier 1838 (*Ibid.*, 1839, p. 209-314) ; — éruption de cendres et de sable en 1835, par M. Monticelli (*Ibid.*, 1835, p. 522).

petite éruption dont il a été témoin à la fin de septembre 1843 (1).

Chimie et minéralogie du Vésuve.

M. Dufrénoy a fait voir que, d'après les analyses chimiques (2), le tuf ponceux ne pouvait pas être regardé comme un produit de la Somma ni comme une déjection du Vésuve ; de sorte que l'étude de la composition élémentaire de ces roches fournit un motif de plus pour distinguer trois sortes de volcans dans les environs de Naples.

Les laves de la Somma sont presque inattaquables par les acides ; celles du Vésuve y sont solubles en grande partie. Les premières contiennent une très forte proportion de potasse, tandis que la soude domine dans les secondes. Le pyroxène de la Somma est un augite ou pyroxène à base de fer ; celui du Vésuve rentre dans les variétés calcaires comme le sahlite. Outre le pyroxène, les laves du Vésuve renferment deux autres minéraux, dont les éléments sont dans des proportions assez constantes, mais pas assez identiques pour qu'on puisse rechercher les formules qui représentent leur composition et par conséquent leur donner un nom particulier. Leurs éléments constituants sont la soude, la potasse, l'alumine, la chaux et la silice. Cette dernière est dans la proportion de 50 pour l'une de ces substances et de 54 pour l'autre.

Les tufs de Pompeï sont plus potassés que ceux du Pausilippe et d'Ischia, sans doute parce qu'il s'y trouve plus de roches de la Somma entraînées lors de la catastrophe. Ils renferment en outre 9 p. 100 de carbonate de chaux, ce qui confirme l'opinion qu'ils ont été stratifiés par les eaux.

MM. Melloni et Piria ont fait quelques recherches sur les fumerolles du lac d'Aguano et de la Solfatare (3), et ils les considèrent comme des traînées plus ou moins visibles de fumée provenant de la précipitation du soufre par la vapeur aqueuse extrêmement divisée.

---

(1) *Mém. sur les volcans d'Italie* (*Mém. de la Soc. géol. de France*, 2ᵉ sér., vol. I, p. 146. 1844).

(2) *Parallèle entre les différents produits volcaniques des environs de Naples, et rapport entre leur composition et les phénomènes qui les ont produits* (*Mém. pour servir à une descript. géol. de la France*, vol. IV, p. 363. 1838. — *Ann. de chim. et de phys.*, vol. LXIX, p. 95). — Voyez aussi : *Sur la formation des minéraux volcaniques*, par M. de Medici Spada (*Bibl. univ. de Genève*, vol. LV, p. 362. 1845).

(3) *Ann. de chim. et de phys.*, vol. LXXIV, p. 331. — *Ann. des mines*, vol. XIX, p. 604.

Digitized by Google

Après avoir traité de la manière dont s'est comblé le cratère, puis de la formation des petits cônes d'éruption, M. H. Abich (1) s'est occupé des fluides élastiques qui se dégagent pendant l'éruption même. Ces derniers sont l'acide hydrochlorique très abondant, ainsi que l'acide sulfurique, tandis qu'au contraire l'acide sulfureux est très rare. Le chlore ne s'y trouve qu'en petite quantité. Les sels volatilisés produits par une véritable sublimation sont le sel marin, le chlorure de fer, l'un et l'autre très fréquents, puis le chlorure de potasse et celui de cuivre peu abondants ; enfin d'autres combinaisons, telles que des chlorures et des sulfates à base de chaux, de magnésie, de fer, de manganèse et divers sulfures produits par des décompositions à la suite d'éruptions.

Passant à la composition des laves du Vésuve, l'auteur cherche à y expliquer la présence de l'amphigène qui serait, selon lui, le résultat soit d'une cristallisation rapide opérée par l'abaissement de température que détermine la volatilisation des sels et la vaporisation de l'eau, soit plutôt de ce que les cristaux d'amphigène de la roche préexistante n'auraient point été fondus avec elle et seraient restés en suspension dans la masse fluide ; car ces grains blancs se voient toujours dans les laves, quel que soit leur degré de fluidité. Ils sont infusibles, tandis que la pâte est très fusible ainsi que le pyroxène qu'elle contient ; mais ils ont cela de commun avec la pâte de se dissoudre facilement dans les acides. M. Abich suppose que les vapeurs aqueuses, par leur énorme tension, ont brisé les cristaux et dispersé les fragments dans toute la masse plus ou moins liquide de la lave. Ainsi, ce géologue qui, comme M. Pilla, s'est beaucoup occupé de la formation de l'amphigène dans les produits modernes, préjuge toujours aussi la nature même de ces grains blancs que M. Dufrénoy a démontré n'être pas de l'amphigène, et que plus anciennement M. G. Rose avait rapprochés du ryacolithe (2).

Dans une autre *Note sur la formation de l'hydrochlorate d'ammoniaque, à la suite des éruptions volcaniques et en particulier de celles du Vésuve arrivées le* 26 *avril* 1834 (3), M. Abich a montré que ce sel ne paraissait pas devoir exister directement parmi les produits volcaniques sortant d'un cratère en activité,

---

(1) *Notes sur les phénomènes volcaniques du Vésuve* (*Bull.*, vol. VII, p. 40. 1835).

(2) *Ann.* de *Poggendorff*, vol. XXVIII.— *Ann. des mines*, 3e sér., vol. V, p. 542, 1834.

(3) *Ibid.*, p. 98.

Digitized by Google

mais qu'il se formait, ainsi que nous l'avons vu annoncé par M. Pilla, dans les courants de lave qui coulent sur un sol contenant des matières animales ou azotées ; ce serait de la sorte un produit adventif, comme le confirmeraient les observations faites en Islande par MM. Descloizeaux et Bunsen, dans le courant de lave de la dernière éruption de l'Hékla (*antè* p. 499).

M. Pilla (1) a remarqué qu'une pluie ayant traversé un nuage de fumée très chargée d'acide muriatique, l'eau devint acide et brûla les plantes des champs sur lesquels elle était tombée. Il a trouvé, en outre, sublimés dans le cratère, du chlorure de plomb, du cuivre hydro-siliceux, du chlorure de cuivre, du soufre et du gypse fibreux. Il signale ensuite dans le massif de la Somma des dykes et des nappes de laves qui avaient jusqu'alors échappé aux recherches des géologues. Ce sont des dolérites micacées avec des cristaux volumineux de labradorite, des augitophyres très cristallins et d'autres avec des cristaux de labradorite sans leucite ; enfin une assise située près de l'arête de la montagne et sur sa pente extérieure, à une petite distance de la *Punta del Nazone*. Cette dernière constitue une roche basaltique très compacte, sans aucune boursouflure, formant une nappe de 4 mètres d'épaisseur, inclinée de 24° et à la hauteur de 1000 mètres au-dessus de la mer. Elle repose sur un conglomérat qui conserve aussi un parallélisme régulier le long de la pente. Cette assise confirmerait, suivant M. Pilla, l'hypothèse du soulèvement de toute la masse ; opinion opposée, comme on le voit, à celle qu'il avait émise dans ses premières publications.

A la suite de l'éruption du 22 avril 1845, le même géologue a annoncé qu'une grande quantité de cristaux isolés d'amphigène et de pyroxène avaient été rejetés du cratère (2). Il nous semble qu'il eût été important de constater dans cette circonstance si les cristaux blancs étaient réellement de l'amphigène identique à celui de la Somma, ou bien si ce n'étaient que des grains blancs analogues à ceux des laves actuelles ; mais M. Pilla ne paraît pas s'être préoccupé de cette question.

Un dernier fait relatif au Vésuve et que nous devons mentionner ici, quoiqu'il ait déjà été indiqué précédemment, est la présence au fond d'une échancrure, près du *Fosso-grande*, d'un tuf argileux

(1) *Observations relatives au Vésuve* (*Compt. rend.*, vol. XII, p. 997, 1841).
(2) *Compt. rend.*, vol. XXI, p. 314. 1845.

Digitized by Google

et d'une espèce de trass contenant la *Turritella terebra*, le *Cardium ciliare*, la *Corbula gibba* et un Oursin, espèces qui, comme celles d'Ischia, appartiennent à l'époque des marnes subapennines. M. Pilla (1), à qui cette découverte est due, en a conclu que le Vésuve primitif était un volcan émergé, manière de voir qui a été appuyée dans cette occasion par MM. Élie de Beaumont et Dufrénoy, et combattue par M. Constant Prévost, ce dernier regardant les fragments de calcaire coquillier comme ayant pu être rejetés par le volcan (2).

M. Robert Allan (3) a communiqué à la Société royale d'Édimbourg un mémoire accompagnant une série de roches volcaniques recueillies dans les îles Lipari. Il a surtout insisté dans ce travail sur la comparaison des obsidiennes des deux localités où cette substance se produit aujourd'hui, l'Islande et les îles dont nous parlons. Il décrit 49 échantillons d'obsidienne et les circonstances de leur gisement; puis il passe à l'examen du soufre natif, de l'alun, du fer spéculaire et d'autres produits de même origine qu'il avait rapportés de ses voyages. Iles Lipari.

Nous mentionnerons ici, mais avec la plus grande réserve, et sur l'autorité seulement de quelques journaux (4), que, vers le milieu de la nuit du 14 au 15 septembre 1843, un navire se trouvant en vue de l'île Melada, située sur la côte de la mer Adriatique, près de Raguse, avait ressenti des secousses de tremblement de terre, et qu'on avait aperçu un torrent de lave sortir du milieu de l'île. La nuit suivante sept cratères ou centres d'éruption se seraient ouverts sur les montagnes et lançaient des matières incandescentes. Ile Mélada.

§ 3. Volcans de Sicile.

Dans ses belles *Recherches sur la structure et sur l'origine du mont Etna* (5), le plus considérable des volcans de l'Europe, M. Élie L'Etna.

(1) *Bull.*, vol. VIII, p. 199. 1837.

(2) *Compt. rend.*, vol. IV, p. 527, 554, 552 et 586. — *Soc. philomatique*, 22 et 29 avril, 10 et 5 mai 1837. — *L'Institut*, n^os^ correspondants.

(3) *Abstract of a paper*, etc. Extrait d'un mémoire accompagnant une série de roches volcaniques des îles Lipari (*Transact. roy. Soc. of Edinburgh*, vol. XII, p. 531. 1833-1834).

(4) *Gazzette di Milano.* — *L'Institut*, 23 nov. 1843. — *The Athenæum*, 14 oct. 1843.

(5) *Compt. rend.*, vol. I, p. 429. 1835. — *Mémoire pour servir*

de Beaumont a fait remarquer que le relief de cette montagne répondait bien peu à l'image poétique que nous en a laissée Pindare qui l'appelle la *Colonne du ciel*. En effet, le terre-plein bombé ou sa base cultivée n'a qu'une pente de 2 à 3°, celle des talus latéraux, *il bosco* ou *regione nemorosa*, est de 7 à 8°; enfin la gibbosité centrale, dépourvue de bois, n'offre pas de pentes au-delà de 32°.

Pris dans son ensemble, le massif de l'Etna n'est point un cône proprement dit, mais il ressemble aux restes d'un cône elliptique dont une partie, celle du sud-est, aurait disparu, laissant deux crêtes étroites qui circonscrivent un cirque immense, le *Val-del-Bove*. « C'est dans les flancs de ce vaste abîme, dit M. de Beau- » mont (p. 11), que l'histoire des commotions qui ont façonné » l'Etna se trouve écrite en caractères ineffaçables, que j'essaierai » de déchiffrer dans la suite de ce mémoire. »

La hauteur du volcan est variable, puisqu'elle dépend de l'état des bords du cratère central, qui est lui-même peu constant. M. W.-H. Smyth, par des mesures trigonométriques, a trouvé 3,314 mètres, et M. J.-F.-W. Herschel, avec le baromètre, 3,313 mètres. La moyenne 3,313^{m},50 est par conséquent plus faible que celles qu'ont obtenues M. Cacciatore (3,321^{m},8) et M. Schouw (3,359 mètres) à des époques où la cime la plus élevée était aussi la même. Mais déjà, en 1832, le point culminant du bord du cratère s'était écroulé, et en 1834 l'altitude de la partie qui restait pouvait être estimée à 3,300 mètres.

(P. 44.) D'après l'état présent du *Piano del Lago*, il ne paraît pas que le cratère ait jamais été plus grand que la base du cône supérieur actuel, car on ne concevrait pas comment la surface du *Piano* aurait repris son uniformité, précisément jusqu'à la base du cône d'aujourd'hui. En outre, la plus grande hauteur du cône supérieur n'a jamais dépassé celle qu'il aurait actuellement si on le complétait jusqu'au sommet. En cherchant à établir ses dimensions d'après ce que l'on voit aujourd'hui, on trouve que le diamètre du grand cratère, estimé à 346 mètres, pourrait être un peu plus faible, mais qu'il n'a jamais atteint 500 mètres; que la hauteur du

---

à une description géologique de la France, vol. IV. 1838. (C'est à ce recueil que se rapporte la pagination que nous indiquons dans le courant de l'analyse.) — *Ann. des mines*, 3^{e} sér., vol. IX, p. 175; janv. et fév. 1836, p. 575; vol. X, p. 351 et 507.

Digitized by Google

point culminant qui n'existe plus, au-dessus de la base du cône, était de 339 mètres, et qu'actuellement la hauteur moyenne du bord serait de 320 mètres. Or, l'inclinaison moyenne du talus étant de 32°, le diamètre de la base du cône supérieur de l'Etna doit être de 1,524 mètres, et par conséquent sa circonférence de 4,788 mètres. Si l'on supposait maintenant que le cône se terminât tout à fait en pointe, ce qui n'a probablement jamais eu lieu, il ne s'élèverait encore qu'à 475 mètres au-dessus de sa base.

(P. 53.) Sous le point de vue minéralogique, la composition des roches de l'Etna est fort simple; mais aux yeux du géologue cette montagne devient très complexe. M. de Beaumont y distingue six groupes de roches d'âges différents, qui comprennent :

1° Les roches granitoïdes ou primaires, constituant la base de la montagne, mais ne se montrant nulle part, si ce n'est dans les fragments souvent rejetés lors des éruptions;

2° Les roches de sédiment entourant la base de l'Etna au N., à l'O. et au S., et appartenant à la formation crétacée inférieure;

3° Les roches basaltoïdes des îles Cyclopes, la colline de la Motta di Catania, et les escarpements colomnaires de Paterno, de Licadia, d'Aderno, etc.;

4° Les cailloux roulés, à la jonction de la plaine de Catane et des premières pentes de l'Etna. Les assises se relèvent de 4 à 5° vers la montagne et appartiennent à l'une des époques tertiaires les plus récentes;

5° Les laves anciennes des escarpements du Val-del-Bove;

6° Les déjections modernes du volcan, dont la masse s'accroît encore de nos jours.

Ces deux derniers groupes de roches pourraient être aisément confondus minéralogiquement; mais, par la disposition générale de leur masse, on reconnaît bientôt qu'ils sont différents, et c'est à la distinction de leurs caractères que le mémoire dont nous nous occupons est particulièrement consacré.

D'après les recherches de M. G. Rose (1), les laves de l'Etna ne renferment point d'orthose ou feldspath ordinaire, mais du feldspath labrador. Elles sont composées de labradorite, de pyroxène et de quelques grains de péridot et de fer titané (2).

---

(1) *Ann. des mines*, 3e sér., vol. VIII, p. 3.

(2) M. Laurent, d'après un échantillon recueilli par M. Élie de Beaumont, a trouvé, pour les cristaux de feldspath renfermés dans

Les produits des éruptions modernes s'amoncèlent très rapidement sur les parties du massif les plus éloignées du centre, tandis que les parties centrales et les plus élevées s'accroissent à peine par l'accumulation de ces mêmes produits. Ainsi, la *Torre del Filosofo*, monument antique du *Piano del Lago*, n'a point été endommagée par les déjections centrales. D'après la portion de sa base cachée sous les lapilli et les cendres, on peut conclure que la surface du Piano s'est exhaussée, par suite de l'accumulation de ces matières volcaniques, de $1^m,25$ depuis 1500 ou 2000 ans, ou de 1 millim. par an. Ainsi le Nil, dont les alluvions ont élevé la vallée qu'il parcourt de $1^m,260$ en 1000 ans, ou de $1^{mm},26$ par année, « travaille plus efficacement à ensevelir les monuments de Thèbes et » de Memphis, que l'Etna à ensevelir sous ses déjections la *Torre* » *del Filosofo.* »

La cause qui permet aux matières gazeuses de rester engagées dans les laves pendant plusieurs années paraît être encore peu connue; mais le refroidissement des laves, résultant de leur faible conductibilité, est toujours d'autant plus lent que la masse est plus épaisse. La marche des courants de lave est due par conséquent à son plus ou moins d'abondance, combinée avec la pente du talus qu'elle parcourt, et le refroidissement plus ou moins rapide est la conséquence de ces deux données.

M. de Beaumont s'attache ensuite à faire ressortir la différence des résultats produits par les déjections modernes sur le sommet de la montagne, sur ses flancs ou sur la partie inférieure de sa base. Au sommet, l'accumulation a donné lieu à un relèvement d'à peine 2 mètres dans un laps de 2000 ans; sur les talus latéraux, au contraire, bien que l'épaisseur n'en soit pas exactement connue, l'accumulation des laves rejetées par les nombreux cônes parasites qui s'y sont formés, et celle des cendres et des lapilli arrivés directement, soit par les éruptions, soit par les pluies et les fontes de neige, ont déterminé un talus régulier de 7 à 8°, le même que celui que forment les torrents alpins, à l'entrée des gorges, avant d'atteindre les plaines ou les vallées à fond plat.

« Le trait caractéristique des cônes, dont la forme extérieure est » uniquement due aux phénomènes d'éruption, consiste dans la

---

la lave de l'Etna, une formule qui diffère peu de celle que M. Berzélius a admise pour le labradorite (*Ann. de chim. et de phys.*, vol. LX, p. 332. On a écrit le Vésuve pour l'Etna).

Digitized by Google

» *continuité* et la *rectilignité* de leurs talus. Le trait caractéristique de la forme générale de l'Etna consiste, au contraire, dans » la *discontinuité* extrêmement prononcée des deux parties principales dont il se compose (p. 96). » Or, cette discontinuité n'est motivée et expliquée qu'autant que l'on regarde la gibbosité centrale comme ayant une existence tout à fait indépendante de celle des talus latéraux; car le relief de la première a été à peine modifié par les éruptions modernes, tandis que les talus latéraux, dont la pente est beaucoup plus faible, sont recouverts par les déjections de nombreuses bouches qui s'y sont ouvertes. « Ainsi, ce défaut de » continuité dans les pentes de l'Etna trahit la double origine du » massif volcanique. »

Les déjections de la période actuelle tendent toujours à abaisser le cône général, en élevant les talus latéraux et laissant le sommet stationnaire ou même se dégradant par l'action des agents atmosphériques, comme les montagnes non volcaniques, et, par suite, le relief de la gibbosité s'affaiblit de plus en plus. Il semble donc que l'origine de cette même gibbosité doive être cherchée dans des phénomènes dont une partie aurait été d'un autre ordre que ceux de déjection qui se continuent de nos jours, c'est-à-dire dans un soulèvement central.

Fractures et soulèvements modernes.

Les éruptions de l'Etna sont précédées par des secousses de tremblement de terre qui occasionnent des fentes dans la montagne. Celles-ci ont quelquefois plusieurs mètres de largeur et se produisent suivant des plans verticaux qui passent par l'axe de la cheminée volcanique. Souvent plusieurs fentes se croisent près du centre de la gibbosité, et il en résulte un étoilement comme dans l'éruption de 1832. Ainsi, la résistance opposée par la masse de la montagne aux efforts de la puissance mécanique qu'elle renferme dans son intérieur serait assez faible. C'est le long de ces fentes, sur un ou plusieurs points, qu'ont lieu les déjections de laves, de cendres, de lapilli ou de gaz, et que se forment les cônes latéraux. Plus l'éruption est basse, ou située vers la partie inférieure de la fente, plus elle est énergique et violente. La partie supérieure de la fente, qui se rapproche le plus du sommet de la montagne et qui est au-dessus de l'éruption, se remplit de scories ou de matériaux éboulés, ou bien encore reste vide; telle est l'origine de la *grotta dei Palombi*, près de Nicolosi.

La plus grande fente de ce genre que l'on connaisse est celle qui précéda l'éruption de 1669. Elle s'étendait de Nicolosi à tra-

Digitized by Google

vers les talus latéraux et la gibbosité centrale jusqu'au-delà de la *Torre del Filosofo*, atteignant au moins la base du cône supérieur et ayant ainsi une longueur de plus de 3 lieues sur 2 mètres de largeur. Elle était remplie jusqu'aux bords de lave incandescente, et on la distinguait la nuit par la clarté livide que répandait la matière en fusion. C'est de sa partie inférieure que sortirent les *Monti Rossi* et la coulée qui vint s'amonceler contre les murs de Catane et menacer la ville.

De l'étoilement actuel de l'Etna, il suit que les parois des fentes s'écartent et que la surface de la montagne tend à augmenter. Or, cet écartement des parois suppose aussi une tuméfaction, un soulèvement de tout le système, dont la quantité peut se déduire de la longueur et de la largeur des fentes. Sans doute cette quantité est fort petite, mais son existence seule est un fait dont on doit tenir compte. L'auteur fait voir, par exemple (p. 118), que la fente de 1832 a produit d'un seul coup, sur le relief du *Piano del Lago*, un effet presque aussi considérable et peut-être même plus grand que l'accumulation des déjections opérées sur ce point depuis 2,000 ans; d'où il résulte que dans l'état actuel des choses une éruption de l'Etna peut être considérée comme un phénomène de soulèvement précédé et accompagné de violentes secousses « et » suivi de l'exhalation d'une grande quantité de fluides élastiques, » de l'éjection de matières incohérentes et de l'émission de ma» tières fondues qui coulent sur ses flancs sous forme de lave. »

Enfin, M. de Beaumont termine cet examen des phénomènes de l'époque actuelle, en faisant voir que par cela seul que les agents intérieurs qui existent au-dessous de l'Etna, sans doute beaucoup plus bas que le niveau de la mer, élèvent les laves jusqu'à sa cime (3,300 mètres), il est prouvé que ces mêmes agents peuvent soulever les parois mêmes de la cheminée volcanique.

Du noyau de la gibbosité centrale de l'Etna et de son mode de formation.

(P. 122.) Dans les produits anciens de l'Etna la pâte est plus fine, plus homogène et plus compacte que dans les produits récents, et sa teinte d'un gris clair ou légèrement brune ne tire pas sur le noir. Les cristaux de feldspath labrador et de pyroxène ont aussi un aspect un peu différent, et ces nuances, quoique très faibles, suffisent cependant pour donner aux masses des caractères dont plusieurs observateurs ont été frappés.

C'est dans les escarpements du Val-del-Bove que l'on reconnait la disposition du noyau central de l'Etna formé par les déjections anciennes. Ces escarpements se composent de plusieurs centaines

Digitized by Google

d'assises parfaitement régulières, formées alternativement de roches de fusion et de matières fragmentaires pulvérulentes, les unes et les autres de composition identique. L'épaisseur de ces assises varie de 0,50 à plusieurs mètres, mais elle est en moyenne d'un peu moins de 2 mètres. De leur étude attentive on peut conclure que la matière qui la compose est sortie de terre à un état de fluidité parfaite qui lui a permis de s'étendre en nappe mince, et qu'elle s'est ensuite solidifiée sans aucun mouvement. Les strates forment souvent des ondulations et des plis comme les dépôts sédimentaires des grandes chaînes, mais leur parallélisme persiste toujours sur des hauteurs qui atteignent jusqu'à 1,000 mètres; « en sorte, dit » M. de Beaumont, que le caractère le plus général et le plus con- » cluant de ces nombreuses assises de matières fondues et de ma- » tières fragmentaires, qui alternent pour former le noyau de la » gibbosité centrale de l'Etna, m'a paru consister en ce qu'*elles* » *sont sujettes à s'infléchir toutes ensemble en passant dans plu-* » *sieurs directions diverses, d'une position à peu près horizontale* » *à une inclinaison de* 25 *à* 30°, *sans que leur structure ni leur* » *épaisseur en soient altérées d'une manière constante* (p. 131). »

Ces assises sont en outre coupées par un grand nombre de filons, tantôt perpendiculaires, tantôt obliques, et composés d'une roche analogue à celle des couches traversées. Ce ne sont d'ailleurs que des fentes remplies qui paraissent se diriger E.-N.-E., et qui par conséquent ne convergeraient pas vers un centre commun, comme les fissures actuelles; d'où l'on pourrait présumer qu'il n'y avait pas alors de centre d'éruption fixe et déterminé.

Les parois du Val-del-Bove offrant des escarpements où la roche est coupée à vif, le cirque paraît devoir son existence à l'enlèvement d'une masse énorme de matières qui l'occupait, et l'auteur fait voir que cette disposition ne peut être attribuée à l'action des agents atmosphériques, ni à celle d'un diluvium, ni enfin être le reste d'un ancien cratère. Il est ainsi conduit à regarder le Val-del-Bove comme indiquant une grande convulsion à laquelle aurait été soumise la masse des déjections anciennes. Plusieurs géologues ont attribué cette cavité à un effondrement tel que celui de Java, de Quito, etc., mais M. de Beaumont fait remarquer que dans ces volcans, sujets à des enfoncements, il n'y a jamais de coulées de lave; ce sont seulement des substances gazeuses qui s'en échappent, puis des cendres et des scories.

L'Etna moderne, au contraire, vomit des laves à chaque érup-

Digitized by Google

tion, et il en était de même de l'Etna ancien, comme le prouvent la disposition stratiforme, les caractères minéralogiques des couches, et surtout les nombreux filons qui les traversent et qui aboutissaient inférieurement non à une cavité, mais à un réservoir rempli de laves. Tout en admettant que le Val-del-Bove puisse être le résultat d'un enfoncement, les motifs suivants portent à penser que la position actuelle de ses parois et de la gibbosité centrale peut résulter aussi d'un soulèvement qui l'aurait précédé.

(P. 146.) 1° Les filons qui s'élèvent jusqu'à la crête de l'escarpement devraient être vides à leur partie supérieure, si la sortie de la lave s'effectuait anciennement, comme elle le fait aujourd'hui, par la partie inférieure des crevasses.

2° Le fait seul de la grande largeur des nappes anciennes prouve que la matière qui les constitue n'a pas coulé comme les laves modernes, qui forment des bandes étroites suivant les lignes de plus grande pente.

3° Les filons qui ne s'élèvent pas jusqu'à la cime du Val-del-Bove s'articulent ou plutôt se fondent à diverses hauteurs avec les assises de lave, et l'on ne peut les regarder que comme les orifices par lesquels sont sorties les matières de la couche à laquelle ils s'unissent et qui n'en étaient que la continuation au dehors. « Or, si l'émis-» sion des laves avait eu lieu lorsque les assises avaient leur position » actuelle, la lave de chaque filon n'aurait pu s'étendre qu'au-» dessous de son ouverture sans jamais monter au-dessus ; et par » conséquent chaque filon, en se joignant à une couche inclinée, » ne ferait que se couder comme la barre supérieure d'une F, au » lieu de s'étendre de part et d'autre comme celle d'un T. » Il résulterait de là que le nombre des assises serait plus grand en s'éloignant de l'axe de la montagne, et que ces assises ne seraient point parallèles, deux conséquences que l'on n'observe pas. La lave, sortie par les filons, a dû s'étendre de part et d'autre du point d'émission, ce qui suppose une horizontalité primitive dans l'ensemble des surfaces aujourd'hui inclinées.

4° Les matières incohérentes n'auraient pu former des assises régulières, parallèles et d'une épaisseur constante, sur un talus de 27° qui est leur inclinaison actuelle dans les escarpements du Val-del-Bove. « L'inclinaison des talus latéraux de l'Etna (p. 158) n'est » guère que le quart de celle des cônes de scories, ce qui suppose » dans la production de ces deux sortes de talus la prépondérance » de mécanismes très différents. »

Digitized by Google

M. de Beaumont explique ensuite les diverses causes auxquelles sont dus les éboulements et la disposition des matériaux qui les constituent. Il distingue : 1° les *talus d'éboulement* formés par des fragments tombant pêle-mêle les uns sur les autres, tels sont les cônes de scories ; 2° les *talus d'entraînement* dus à la dispersion des fragments et à leur répartition sur une large base, facilitée par l'action d'un courant d'eau, tels sont les talus latéraux de l'Etna ; 3° enfin les *talus de balancement* résultant des matières incohérentes que stratifie le balancement d'une grande masse d'eau.

Les deux premières sortes de talus concourent à peu près seules à la formation des montagnes volcaniques. Les talus d'éboulement font en général avec l'horizon des angles de moins de 42°, et il en est de même de ceux formés par les neiges. Ils varient d'ailleurs suivant une infinité de circonstances (p. 161). Ceux du Val-del-Bove n'ont pas pu être déposés sous les eaux, à moins qu'on n'admette le soulèvement subséquent ; quant aux talus d'entraînement, ils sont de moins de 10°.

L'examen de ce qui se passe dans l'accumulation des matières qui constituent les talus permet d'apprécier ce qu'a de remarquable l'uniformité d'épaisseur et l'exact parallélisme que conservent, au milieu d'inflexions variées et de pentes souvent rapides, les assises de matières fragmentaires qui se dessinent dans les escarpements du Val-del-Bove. En outre, si les assises de fragments qui entrent dans la composition de la gibbosité centrale offrent des pentes curvilignes, elles s'éloignent donc des pentes rectilignes qui se produisent journellement sur les flancs des volcans, et elles se rapprochent, au contraire, des effets ordinaires de soulèvement, lesquels rendent les couches non seulement inclinées, mais encore infléchies d'une manière plus ou moins compliquée. Or, ces diverses considérations portent à admettre que ces couches ont dû se former dans une position à très peu près horizontale et ne doivent leurs inflexions et leur inclinaison actuelle qu'à des mouvements ultérieurs.

5° Les assises de matières fondues sont aussi constamment uniformes et parallèles, dans le Val-del-Bove, que celles de matières incohérentes, et c'est précisément ce qui n'a pas lieu de nos jours dans les masses en fusion qui se répandent sur les flancs des volcans. On les voit s'amincir dans les parties très inclinées et se renfler dans celles qui le sont moins.

6° L'uniformité des couches de matières fondues dans la grande

Digitized by Google

cavité qui nous occupe se soutient dans tous les détails de leur structure, que ces couches soient horizontales, peu inclinées, ou qu'elles atteignent une pente de 27°. Ce défaut de rapport ou mieux cette indépendance entre la structure des couches et la pente qu'elles affectent, est encore opposé à tout ce que l'on observe dans les coulées actuelles, dont la forme varie avec le degré de la pente. On ne peut donc expliquer ce fait qu'en supposant qu'une partie au moins de ces strates, dont la ressemblance de forme contraste si fortement avec la variabilité de l'inclinaison, ne se trouvent plus aujourd'hui dans leur position originaire.

Par suite de l'examen comparatif des pentes avec la structure ou l'état des laves de 68 des plus grandes coulées prises dans les principaux volcans de l'Europe et des îles Canaries, l'auteur conclut (p. 181) « que la structure des roches, qu'un large fleuve de lave » a laissées sur la surface du sol, varie suivant une certaine loi avec » la pente de ce même sol, et leur manière d'être est pour ainsi » dire une fonction de la pente; » or, les nappes du Val-del-Bove, horizontales, peu inclinées ou avec une inclinaison de 27°, ne présentent rien de semblable; elles montrent partout la même manière d'être, qui conduit encore à cette conclusion, que leur position actuelle résulte d'un mouvement que les unes ou les autres ont éprouvé depuis leur solidification.

Pour déterminer quelles sont celles de ces couches qui ont changé de position, M. de Beaumont fait remarquer qu'elles se sont toutes solidifiées sur des pentes égales, qu'elles ne se présentent jamais sous forme de *cheires*, mais qu'elles ressemblent au contraire aux parties des coulées modernes qui se sont étendues sur un sol presque plat où le mouvement est très lent et où elles se sont arrêtées d'elles-mêmes. De plus, un caractère général de toutes les coulées actuelles sur une pente depuis 33° jusqu'à 2° seulement et qui ne cesse que là où la pente cesse elle-même tout à fait, ce sont les digues de scories en bourrelets qui, assez semblables à des moraines de glaciers, bordent la coulée des deux côtés et s'élèvent plus haut que celle-ci à la fin de son mouvement, en marquant ainsi le maximum de hauteur qu'elle a atteint lors de son plus grand gonflement. Maintenant dans le Val-del-Bove on ne voit rien de pareil; il n'y a pas plus de bourrelets que de traces de *cheires*, et les assises, dont les tranches constituent ses escarpements, n'ont point été arrêtées, faute de chaleur, sur des pentes plus ou moins considérables, mais se sont étendues, au contraire, très chaudes et très fluides encore, sur des pentes très

Digitized by Google

faibles, inférieures à celles sur lesquelles se forment les cheires actuelles.

Les couches inclinées sont donc celles dont la position primitive a changé, tandis que les strates presque horizontaux, comme ceux qui forment l'escarpement du *Serre-del-Solfizio*, ont, au contraire, à peu près leur position originaire par rapport à l'horizon. Ainsi, ces dernières considérations s'accordent avec les précédentes pour prouver « que les parties des assises des escarpements du Val-del-» Bove, qui sont fortement inclinées, ne sont plus aujourd'hui dans » la position où elles se sont primitivement entassées (p. 186). »

La formation du noyau de la gibbosité centrale est due à des déjections successives de lave par des fentes nombreuses, suivant des lignes dont la direction est à peu près constante. Ces matières se sont répandues, de part et d'autre de ces ouvertures, en nappes minces et uniformes sur un fond à peu près plat. Ces éruptions étaient accompagnées de dégagements de fluides entraînant des scories et des cendres qui produisaient des strates uniformes de matières fragmentaires, lesquels alternaient avec ceux de matières fondues. «Mais un jour (p. 188) l'agent intérieur qui fendait si souvent le » sol, ayant sans doute déployé une énergie extraordinaire, l'a » rompu et soulevé. *Dès lors l'Etna a été une montagne*, et un » canal de communication entre l'intérieur du globe et l'atmo-» sphère étant resté ouvert dans la partie la plus soulevée, cette » montagne a été *un volcan permanent*. »

Le soulèvement ne paraît pas s'être produit en un point central, mais il a suivi une ligne droite représentée par l'axe de l'ellipse que déterminent les flancs du Val-del-Bove, et en se manifestant avec des intensités inégales sur les divers points. Le maximum de ces dernières se trouvait à son extrémité occidentale qui correspond à la cheminée volcanique actuelle. Toute la masse de matière correspondant à la cavité du Val-del-Bove aurait été engloutie dans l'intérieur du volcan, comme l'ont pensé MM. Buckland, Lyell et de Buch (1).

---

(1) M. C. Gemellaro avait lu à la réunion des savants allemands à Stuttgard, en 1834, un *Discours sur la constitution géognostique du Val-del-Bove* (*a*), dans lequel il regarde cette cavité comme un enfoncement (*sprofondamento*) du flanc de l'Etna. Plus tard (*b*), il est revenu sur ce sujet, et après avoir décrit en détail la disposition

(*a*) *De vallis de Bove in monte Ætna geognosticâ constitutione* (*Atti dell' Accad. gioen. di Catania*, vol. XI, 1836).
(*b*) *Ibid.* vol. XII, p. 163, 1837.

La discordance complète de gisement entre les produits anciens et les produits modernes semble prouver que le soulèvement s'est effectué subitement et d'un seul coup. L'écroulement aurait aussi été instantané.

M. de Beaumont fait voir ensuite que la colonne de lave qui s'élève à la cime de l'Etna a plus de 3,300 mètres de hauteur et qu'elle est soumise, pendant les éruptions, à une pression de plus de mille atmosphères. Or, qui oserait assigner la limite des effets qu'une pareille machine a pu produire, si, une seule fois dans le cours des siècles, le jeu de la soupape de sûreté, représentée par la cheminée volcanique, s'est trouvé dérangé ?

On connaît en outre de nombreux exemples où des forces aussi énergiques sont déployées par la nature. Les grands cônes des Andes, le Chimborazo, l'Antisana, le Cotopaxi, le Pichincha, s'élèvent à une hauteur presque double au-dessus du niveau de la mer. Mais la partie volcanique proprement dite de ces montagnes n'est pas plus considérable que celle de l'Etna, parce que leur base se trouve établie, à une beaucoup plus grande hauteur au-dessus de la mer, sur le plateau de Quito dont l'altitude est de 2,908 mètres. Le Chimborazo, entre autres, atteint 3,622 mètres au-dessus de ce plateau, ou 6,530 mètres d'altitude, tandis que l'Etna, dont la hauteur est de 3,300 mètres, a sa base au niveau même de la mer.

(P. 199.) « Aussi le fait que la base des cônes des Andes est » située à une hauteur absolue à peu près égale à celle de la cime » de l'Etna, explique à lui seul la différence des éruptions, car il » en résulte que le même effort des agents intérieurs qui peut » faire sortir les laves par le cratère de l'Etna, ne peut que les » faire bouillonner dans les cheminées des cônes des Andes, à la » hauteur de la base sur laquelle ils s'élèvent. » Une autre conséquence de cette disposition, c'est que le noyau de l'Etna est formé de couches superposées de matières fondues et de matières incohérentes, tandis que ceux des Andes se composent uniquement de trachytes massifs qui paraissent n'avoir jamais coulé ; d'où

---

des couches de laves et des filons nombreux qui les traversent, puis la forme de la vallée, etc., il dit : Qu'a donc de commun avec un cratère une vallée irrégulière de 7 milles de long sur 4 de large, ouverte dans le flanc d'une montagne conique dont elle forme une section, qui est 1/6 de sa surface, et où s'ouvre une vallée supérieure, dans un sens transversal, etc. ? C'est donc le résultat d'un enfoncement comme la *Cisterna*, en 1792, et la vallée de Colonna.

Digitized by Google

M. Boussingault avait déjà conclu que la formation de ces cônes ne pouvait s'être opérée que par voie de soulèvement.

Ainsi l'Etna rentrerait non seulement dans le mode de formation ordinaire des montagnes non volcaniques, mais encore dans celui d'autres cônes volcaniques, dont la position élevée doit avoir exigé, de la part des agents internes qui les ont portés à cette hauteur, des efforts bien plus grands que le soulèvement auquel on peut attribuer l'origine du massif dont nous venons de nous occuper (1).

A la suite de ce mémoire, qui nous paraît un des plus remarquables de l'auteur, tant par sa logique serrée que par la richesse des détails, l'élégance de la forme, et l'élévation du style, M. de Beaumont a placé 6 tableaux que nous avons déjà signalés (*antè*, p. 228) et où se trouvent réunies de nombreuses mesures de pentes soit naturelles, soit artificielles.

Travaux divers relatifs à l'Etna.

M. Ch. Lyell, dans ses *Principes de géologie*, avait donné d'excellents dessins des diverses parties de l'Etna, et de son côté M. H. Abich, dans ses *Vues illustratives de quelques phénomènes géologiques, prises sur le Vésuve et sur l'Etna* (2), est venu apporter aussi de nouveaux matériaux sur l'orographie de cette *montagne par excellence*, le Gibel des Arabes. Mais la monographie complète de ce volcan ou une histoire qui comprendrait à la fois tout ce que les traditions nous ont transmis, ainsi qu'une représentation fidèle et détaillée de son état physique et de ses phénomènes, manquait encore à la science, et c'est à ce grand travail que M. le baron W. Sartorius de Waltershausen a consacré des sommes considérables et neuf années consécutives passées presque constamment sur le terrain. Cet ouvrage, dont nous ne possédons encore que les deux

(1) Cette manière de voir de M. Élie de Beaumont a été complétement partagée par MM. de Waltershausen, de La Bèche, de Buch, J.-D. Forbes et Hopkins, lors de la 15e réunion de l'Association britannique à Cambridge, au mois de juin 1845, et M. de Waltershausen l'a confirmée depuis, dans sa lettre à l'Académie des sciences (*Compt. rend.*, vol. XXIV, p. 791, 1847.)

(2) Voyez aussi : *Geologische Beobachtungen über die vulkanischen Erscheinungen*, etc. Brunswick, 1841. Observations géologiques sur les phénomènes et les formations volcaniques de l'Italie moyenne et inférieure. — Ouvrage accompagné de trois cartes et de deux planches de coupes représentant les volcans de l'Italie centrale. — Fréd. Hoffmann. *Observations géologiques recueillies dans un voyage en Italie et en Sicile pendant les années* 1830-1832, avec une carte géologique de la Sicile (*Arch. f. miner.* de *Karsten*, vol. XIII, p. 1-726 1839).

premières livraisons (1), est intitulé : *L'Etna et ses révolutions*. Il est destiné à représenter les rapports géologiques, physiques et mathématiques de cette montagne, de même que le détail de toutes ses éruptions jusqu'à l'année 1843. Il est accompagné d'une carte topographique et géologique au $\frac{1}{50000}$, et d'un grand nombre de vues et de coupes. Sur les cartes sont indiquées, par des couleurs, la date des courants de lave qui ont coulé dans 215 éruptions différentes, et la position des cratères secondaires au nombre de 750 (2).

Éruptions de l'Etna.

M. G. Alessi a publié successivement, dans les Actes de l'Académie Gioénienne des sciences naturelles de Catane, l'histoire critique des éruptions de l'Etna. Son septième discours sur ce sujet (3) comprend celles du XVIII[e] siècle, et renferme un tableau où se trouvent mentionnées toutes les éruptions connues depuis l'époque mythologique jusqu'à l'année 1832. Elles sont au nombre de 136, outre ce que l'auteur appelle les grandes époques de la nature, c'est-à-dire le premier retrait de la mer, la séparation de la Sicile du continent et les innombrables éruptions qui, avant l'ère vulgaire, ont agrandi le massif de l'Etna.

M. Mario Murumeci (4) a décrit l'éruption du 31 octobre et celles du 1[er] et du 3 novembre 1832, qui menacèrent la ville de Bronte. M. Daubeny (5) a donné quelques détails sur celle du 28 août 1834, et M. C. Gemellaro, qui avait écrit une relation de ces phénomènes depuis le 10 juillet 1828 jusqu'en 1838 (6), a rendu compte de l'éruption du 2 août 1838, dans la séance de l'Académie Gioénienne du 3 octobre suivant. M. Newbold a fait connaître (7) que, dans cette dernière éruption, qui eut lieu par le grand cratère, la forme de celui-ci avait été très modifiée. Le phénomène s'est manifesté à l'angle sud-ouest du cratère, qui présentait ensuite une cavité elliptique d'environ 2,000 pas de circonférence et de 100 mètres de profondeur. Cette cavité était divisée en deux parties

(1) *Atlas des Ætna*, part. I, in-fol., 5 planches, 5 cartes et texte français. Berlin, 1845. Cet ouvrage a été exécuté avec la collaboration de MM. S. Cavallari, C. F. Peters et C. Roos.
(2) *Rep. 15th Meet. brit. Assoc.*, 1845, p. 59.
(3) *Atti dell' Accad. gioen. di Catania*, vol. IX, p. 121. 1834.
(4) *Ibid.*, p. 207.
(5) *Transact. philos. roy. Soc. of London*, pour 1835, p. 153.
(6) *Neu. Jahrb.*, 1838, p. 531, 532.
(7) Lettre à M. Élie de Beaumont (*Ann. des mines*, vol. XIX, p. 387).

Digitized by Google

inégales par une espèce de muraille que la lave avait formée en se refroidissant. Enfin, l'éruption du 27 novembre 1842 a été signalée par M. C. Gemellaro (1), ainsi que celle du même mois de l'année suivante (2).

Chimie et minéralogie de l'Etna.

M. Maravigna s'occupe depuis longtemps, et avec autant de zèle que de sagacité, de rassembler tout ce qui se rapporte à la minéralogie et à la chimie de l'Etna, mais nous ne pouvons que mentionner ici ses nombreux travaux. Ce savant a publié successivement des *Matériaux pour servir à l'oryctognosie de l'Etna*, *sixième mémoire, sur la famille des silicides* (3); *Septième mémoire*, *sur la famille des phosphorides* (4); *Note sur le fer oligiste octaèdre de la colline del Corvo* (5); et une autre *sur le sulfate de chaux* (6); puis un mémoire sur l'ialite, la trémolite et l'hydrochlorate d'ammoniaque de l'éruption de Bronte (7); des *Tableaux synoptiques de l'Etna, comprenant la topographie, la description des phénomènes, l'histoire des éruptions et la minéralogie de ce volcan* (8); enfin un mémoire de l'oryctognosie de l'Etna et des volcans éteints de la Sicile (9).

M. A. Loewe (10), dans son Analyse du basalte et des laves de l'Etna, a fait voir que ces dernières ne renfermaient aucune trace d'eau, tandis qu'on en trouve constamment dans les premiers. Les laves sont composées d'une substance feldspathique en petits cristaux tabulaires gris blanc, enveloppés dans une pâte grise de cristaux d'augite vert noir et de petits grains d'olivine. On a vu pré-

---

(1) *Atti dell' Accad. gioen. di Catania*, vol. XIX, p. 227. 1842.
(2) *L'Institut*, 21 août 1844. — *Neu. Jahrb.*, 1844, p. 180-181, pl. 2.
(3) *Atti dell' Accad. gioen. di Catania*, vol. IX, p. 231. 1834.
(4) *Ibid.*, p. 292. Un tirage à part de ces deux mémoires paraît avoir été fait en 1835 sous le titre de *Materiali per servire alla compilazione della orittognosia Etnea*, etc. Catane.
(5) *Ibid.*, vol. XI, p. 307. 1836.
(6) *Ibid.*, vol. XII, p. 149. 1837.
(7) *Ibid.*, vol. XII, p. 81.
(8) In-fol. de 7 feuilles. Paris, 1838.
(9) *Memoria di orittognosia Etnea e dei volcani estinti della Sicilia*, in-8. Paris, 1838. — Voyez aussi : *Rapports entre le basalte et la téphrine de l'Etna*, in-8, 6 pl. Paris, 1838. — *Abrégé d'oryctognosie etnéenne*. — *Monographie du soufre de Sicile*. — *Monographie de la Célestine de Sicile*.
(10) *Ann. der chem. und physik de Poggendorff*, vol. XXXVIII, p. 151. 1836.—*Edinb. new phil. Magaz.*, vol. XXIV, p. 22. 1838.

Digitized by Google

cédemment que M. G. Rose regardait le feldspath comme du labradorite, et M. Élie de Beaumont (1) a trouvé que dans quatre variétés des cendres de l'Etna il y avait une composition fondamentale dominante, quoiqu'elles différassent entre elles à certains égards. Le labradorite est dans toutes l'élément principal, et le fer oxydulé y est toujours abondant.

Phénomènes divers.

M. Giuffrida d'Angelo (2) a publié quelques observations sur des laves de l'Etna, mélangées de végétaux encore reconnaissables et non réduits en cendres. M. G. A. Galvagni (3) a signalé un nouveau phénomène sonore qui s'est fait entendre sur l'Etna. Il paraît avoir été occasionné par une vibration spontanée des couches d'air dans une grande étendue; mais la relation et l'explication de l'auteur nous ont paru laisser à désirer sous le rapport de la clarté.

M. Ant. Somma s'est occupé d'une manière particulière de la théorie des fentes (4). Il en a fait une description topographique détaillée; puis il en a cherché les causes qui semblent rentrer dans celles des volcans eux-mêmes et se rattacher à des effets mécaniques et chimiques. M. C. Gemellaro (5) a fait voir de son côté quelle était la variété des caractères que présentait la surface des courants volcaniques.

Ile Julia.

M. Constant Prévost ayant été chargé d'étudier le nouveau volcan qui s'était élevé de la mer, au mois de juillet 1831, entre la côte méridionale de la Sicile et l'île de Pantellerie, a adressé sur ce sujet plusieurs lettres à l'Académie des sciences (6). Plus tard il a publié sur l'île Julia des notes (7), dont nous extrairons seulement ce qui suit, plusieurs parties de ce travail ayant été déjà mentionnées ailleurs, ou bien se rattachant à une théorie générale

---

(1) *Compt. rend.*, vol. IV, p. 743. 1837.

(2) *Caronda di Catania*, n° 14, avril 1839.

(3) *Sopra un nuovo fenomeno sonoro accaduto sul sommo Giogo dell' Etna* (*Atti dell' Accad. gioen. di Catania*, vol. XII, p. 325. 1837).

(4) *Osservazioni vulcanologische*, etc. Observations sur les fentes volcaniques existantes (vulgairement *Cavoli*) dans Mascaluccia (*Ibid.*, vol. XVI, p. 21. 1841).

(5) *Ibid.*, vol. XIX, p. 173. 1842.

(6) *Bull.*, vol. II, p. 32. 1831. — Rapport de M. Cordier (*Compt. rend.*, vol. II, p. 243. 1836). — *Ann. des voyages*, vol. XXII, p. 88.

(7) *Notes sur l'île Julia, pour servir à l'histoire de la formation des montagnes volcaniques* (*Mém. de la Soc. géol. de France*, vol. II, p. 91. 1835).

Digitized by Google

dont nous n'avons pas à nous occuper en ce moment. L'auteur, après avoir rappelé l'historique de ce volcan sous-marin, ainsi que les diverses observations auxquelles il a donné lieu, conclut ce qui suit de l'ensemble des faits recueillis :

1° Le fond de la mer en cet endroit avait été violemment agité depuis plusieurs siècles ;

2° L'île Julia ne s'est élevée ni sur un haut fond, ni sur un banc, mais au pied de l'escarpement sous-marin qui termine à l'E. le large *banc de l'Aventure ;*

3° Le volcan s'est manifesté suivant la ligne N.-E., S.-O., tirée du port de Sciacca à Pantellerie, deux points où depuis longtemps se manifestent des phénomènes volcaniques ;

4° Des tremblements de terre fréquents le long des côtes de Sicile et à Pantellerie précédèrent le léger bouillonnement qui se manifesta à la surface de la mer avant l'éruption ;

5° Ces secousses du sol furent accompagnées de bruits très forts et prolongés, semblables à une canonnade ;

6° Avant les premières éruptions les eaux étaient troubles, bouillonnantes et couvertes de poissons morts ou engourdis ;

7° Les éruptions commencèrent par des vapeurs légères, qui, augmentant peu après, formèrent une colonne permanente, blanche et floconneuse, de 500 à 650 mètres de hauteur, sur 20 à 32 de largeur. Ces vapeurs furent bientôt accompagnées de cendres et de pierres, dont la sortie intermittente précéda, d'assez longtemps, l'apparition du massif solide à sa base.

8° L'apparition de l'île fut successive. Un piton parut d'abord ; puis, plusieurs autres, après s'être montrés isolément, se réunirent et formèrent autour du centre d'éruption un bourrelet de matières meubles dont la forme changeait constamment, et qui finit par s'élever jusqu'à environ 65 mètres au-dessus du niveau des eaux.

9° L'ascension continuelle du gaz ou des vapeurs brûlantes, à travers l'eau du cratère ou du bord méridional de l'île, produisait à la surface l'effet d'un bouillonnement.

10° Les éruptions furent intermittentes et les périodes d'activité furent séparées par des périodes de repos plus ou moins longues.

11° La disparition fut lente et successive comme avait été l'apparition. Elle fut produite, ainsi que l'abaissement du sol redevenu sous-marin, par l'action des vagues qui favorisa l'éboulement des matériaux incohérents dont le massif était composé, les entraîna peu à peu et changea cette île en un banc couvert de 2^{m}92 à

Digitized by Google

3m25 d'eau sur quelques points, et dont la forme actuelle ne rappelle en rien son origine.

Ainsi cette manifestation éphémère des forces internes du globe, qui, à sa naissance, avait été saluée de tant de noms différents (*Corrao*, *Sciacca*, *Ferdinandea*, *Hotham*, *Graham*, *Nerita* et *Julia*), disparut après être restée quatre mois et demi au-dessus de la mer, du milieu de juillet au commencement de décembre.

M. Constant Prévost s'est attaché ensuite à démontrer que cette île n'a pas été formée par le soulèvement du sol, mais bien par l'accumulation de matières rejetées, comme tous les cônes de cendres et de scories sans coulées de laves. En comparant ce qui se passe dans les éruptions sous-marines et dans celles qui ont lieu au-dessus de l'eau, il fait voir également que, dans les premières, le centre d'éruption ne peut être indiqué par un cratère ou par une cavité, mais qu'il doit l'être au contraire par un relief ou une gibbosité, comme il l'a remarqué dans le *Val-di-Noto*. Autour de ces centres reconnus ou présumés d'éruption, il n'a point aperçu non plus le relèvement circulaire des roches qui auraient formé le sol fondamental.

M. J. Davy (1) avait conclu de même de ses observations, que l'île Julia était un cratère d'éruption, composé de matières meubles rejetées par l'action volcanique, et non un cratère d'élévation formé par les roches qui constituaient auparavant le fond de la mer; mais M. Arago (2), considérant les sondages exécutés autour de l'île, à des distances de 39 à 78 mètres de ses bords, en déduisit des pentes de 47 à 62° pour ses flancs immergés, pentes d'autant plus faibles qu'on s'éloignait davantage du point d'éruption. D'un autre côté, le savant astronome pensait que si l'île avait été formée par l'accumulation de matières incandescentes ou très chaudes, ces dernières auraient échauffé la mer jusqu'à une certaine distance, tandis que, d'après M. Davy, la température de l'eau, à l'époque du 5 août, diminuait de 5°,6 lorsqu'on s'approchait de l'île. Or, M. Arago a cherché à expliquer à la fois la pente des talus sous-marins et la diminution de la température par le soulèvement du fond de la mer, dont les roches redressées étaient refroidies depuis des siècles. Ajoutons que la température s'abaissait également de haut en bas à partir du niveau du rivage.

(1) *Proceed. roy. Soc. of London*, n° 9, p. 107, mars 1832.
(2) *Compt. rend.*, vol. IV, p. 753. 1837.

Digitized by Google

M. C. Prévost (1) a combattu cette opinion, qui avait déjà été émise précédemment, en faisant voir que les talus, à l'époque du sondage, étaient formés de cendres et de scories mouillées et tassées, et non par la roche du fond de la mer; qu'en outre il n'était guère possible d'admettre l'action frigorifique de la roche soulevée depuis un mois. Il s'est attaché ensuite à détruire les arguments tirés des sondages faits autour de l'île, ainsi que des observations sur la température de la mer à diverses distances. Le savant géologue a joint à sa note, insérée dans le *Bulletin de la Société géologique*, un plan topographique de l'île Julia d'après celui du capitaine Woodhouse, avec l'indication de tous les sondages exécutés autour, et qui, avec le plan et les profils donnés précédemment (2), nous paraissent confirmer tout à fait sa manière de voir.

M. Parrot (3) a soutenu l'opinion de M. C. Prévost, en établissant que la forme du massif, déterminée par les sondages, ne peut en aucune manière s'accorder avec l'hypothèse opposée, et en faisant voir que la preuve tirée du refroidissement de l'eau près de l'île n'est nullement fondée. Dans cette même note, l'auteur, après avoir rappelé que dans sa *Physique de la terre* publiée en 1815 il avait déjà développé toute la théorie des soulèvements volcaniques, a combattu la preuve du soulèvement du Vésuve déduite des coquilles trouvées par M. Pilla dans le *Fosso-grande* et dont nous avons parlé précédemment.

Généralités sur les volcans brûlants de l'Italie et de la Sicile.

Dans ses *Notes sur l'île Julia* (4), M. C. Prévost a donné quelques motifs à l'appui de son opinion sur la formation des montagnes volcaniques d'Italie, opinion d'ailleurs la plus ancienne à ce sujet et qui consiste à les regarder comme les produits d'accumulations successives de matières rejetées, sans soulèvement préalable des roches sous-jacentes. Nous traiterons ailleurs de la théorie des soulèvements centraux et linéaires, et nous remettons à parler alors des arguments opposés par M. Prévost à l'application que l'on

(1) *Bull.*, vol. VIII, p. 282, pl. 7. 1837. — *Compt. rend.*, vol. IV, p. 857. — Réplique de M. Arago (*Ibid.*, p. 862). — Voyez aussi : *Société philomatique*, 1er juillet 1837. — *L'Institut*, id.

(2) *Notes sur l'île Julia*, etc. (*Mém. de la Soc. géol. de France*, vol. II, pl. 5). — Voyez aussi : L. Pilla, *Phénomène volcanique récent dans un des points de la mer qui baigne les côtes de Sicile*, in-4. (*Compt. rend.*, vol. XXII, p. 988. 1846).

(3) *Bull. de l'Acad. de St-Pétersbourg*, vol. III, p. 273. 1837.

(4) *Loc. cit.*, p. 108.

Digitized by Google

a faite au Vésuve et à l'Etna de la théorie des cratères de soulèvement; nous dirons seulement ici, relativement au dernier de ces volcans, que ce géologue semble adopter implicitement l'hypothèse du soulèvement, puisqu'il dit (p. 112): « Cet immense cône sur- » baissé....... a été originairement un volcan sous-marin, ainsi » que l'attestent les coquilles marines récentes que l'on trouve à » plus de 325 mètres d'élévation sur son flanc oriental, et comme » l'indiqueraient la nature et la disposition des matières dont le » corps de cette montagne célèbre est composé, disposition que le » Val-del-Bove donne le moyen d'étudier sur une épaisseur de 650 à » 975 mètres. » Y a-t-il donc bien loin de cette manière de voir à ce que nous avons déduit des recherches de M. Élie de Beaumont sur le même sujet ?

Peu de géologues étaient plus à même que M. L. Pilla de traiter des volcans en activité d'Italie et de Sicile sous un point de vue général et comparatif; aussi s'est-il occupé de ce sujet à deux reprises différentes, d'abord en 1837, puis en 1845. Dans l'intervalle de ces publications il paraît avoir sensiblement modifié ses opinions relativement au mode de formation de ces volcans; ainsi, dans son *Parallèle entre les trois volcans brûlants d'Italie* (1), M. Pilla (p. 99-101) repousse toute idée de l'application de la théorie des cratères de soulèvement au Vésuve. Les strates de la Somma sont à peu près identiques à ceux du cône actuel du Vésuve; leur disposition est la même; ils ont été déposés de la même manière, et, en résumé, le cratère de la Somma a été formé suivant le même mode que celui du Vésuve (2). L'Etna aurait eu également un vaste cratère proportionnel à sa masse, et dont le Val-del-Bove serait un reste. Dans cette classe de volcans, le cratère extérieur est détruit; tels sont le Vésuve, Roccamonfina et Vulcano. L'auteur a décrit d'ailleurs d'une manière très claire et fort intéressante les caractères du sol aux environs des volcans, les systèmes auxquels ceux-ci appartiennent, la forme de leur cratère, leur action, les produits divers auxquels ils donnent lieu et les causes de leur ignition.

La silice entre pour plus de moitié dans la composition des laves, soit du Vésuve, soit de l'Etna et de Stromboli; l'autre moitié est

(1) *Parallelo tra i tri vulcani ardenti dell' Italia* (*Atti dell' Accad. gioen. di Catania*, vol. XII, p. 89. 1837).

(2) « *Ed in conchiusione che il cratere della Somma si è formato nel modo stesso che quello del Vesuvio* (p. 101). »

Digitized by Google

formée par l'alumine, la potasse, le calcaire, la soude et le fer. Ainsi la silice et les métaux des alcalis sont les principaux éléments des matières volcaniques fondues.

Le volcan de Stromboli (1) ne présente ni autour de lui, ni dans les matières rejetées, aucune roche sédimentaire qui puisse éclairer sur l'époque de sa première apparition. Les produits du Vésuve n'offrent pas non plus de relation importante avec les roches de sédiment les plus voisines. Des coquilles tertiaires très récentes, dont quelques unes sont lacustres, ayant été recueillies dans les conglomérats de la Somma, on pourrait en conclure que les assises qui les composent ont été déposées dans une baie ou dans un golfe, puis émergées après le terrain tertiaire récent (*newer pliocène*). Quant à l'Etna, l'auteur regarde son origine comme plus ancienne, car les laves du massif principal sont recouvertes, à Cifoli, par les marnes bleues subapennines renfermant des fragments de la lave sous-jacente : ainsi cette montagne serait antérieure aux couches tertiaires supérieures (*pliocène*).

Enfin M. H. Abich a écrit aussi sur les cratères de soulèvement et sur la liaison intérieure des phénomènes et des roches volcaniques d'Italie qui se présentent isolément sur des fissures constituant des zones plus ou moins étendues (2).

§ 4. Volcans des îles de la Grèce.

Dans sa *Note sur les volcans de Santorin et de Milo* (3), M. Virlet s'est attaché à démontrer que les îles de Thérasia et d'Aspronisi étaient identiques à celles de Santorin et de la même époque. Ces îles sont des portions de secteurs d'un grand cône qui s'est probablement abîmé avant les temps historiques ; ce sont les restes d'un grand *cratère d'enfoncement*. Cette manière de voir, appuyée d'ailleurs du témoignage de Pline relativement à Thérasia, qui, après un tremblement de terre arrivé l'an 236 avant J.-C., fut séparée de Théra ou Santorin, se trouverait au contraire opposée à l'opinion assez généralement admise, que ces îles sont sorties successivement du sein des mers.

(1) L. Pilla, *Saggio comparativo*, etc. Essai comparatif des terrains qui composent le sol de l'Italie, in-8. Pisa, 1845.
(2) *Ber. ub. d. vers. deutsch. naturf.*, p. 140. — *Neu. Jahrb.*, 1839, p. 546-553.
(3) *Bull.*, vol. IX, p. 168, avec carte, 1838.

Digitized by Google

Ce fut en l'année 186 avant J.-C. que se forma l'île d'Hiéra ou Paléo-Kaïméni, et M. Virlet rapporte les documents puisés dans les historiens sur les phénomènes qui se sont produits dans cette partie de l'Archipel : on y voit entre autres que les éruptions de 1573 donnèrent naissance à l'île de Mikro-Kaïméni. De 1707 à 1712, une troisième île surgit entre Paléo et Mikro-Kaïméni, et elle fut nommée Néo-Kaïméni. Cette dernière, plus grande et plus élevée que ses deux aînées, présente un beau cône d'éruption avec un cratère très bien conservé. C'est par erreur que sa formation, qui est de 1707, a été rapportée à 1767 par M. Ordinaire et les géologues qui l'ont suivi. Enfin, un îlot sous-marin, situé entre Mikro-Kaïméni et le port de Théra, s'élève graduellement depuis environ 50 ans. Lors du voyage d'Olivier, il était à 15 ou 20 brasses de profondeur, et en 1829 il se trouvait à 4 brasses et demie de la surface de la mer. En 1830, il s'est élevé d'une demi-brasse et le banc avait alors 800 mètres de l'E. à l'O., et 500 mètres du N. au S., et, en 1835, M. l'amiral de Lalande n'a plus trouvé qu'un fond de 2 brasses (1).

Contrairement à l'opinion de M. de Buch (2) et de plusieurs autres géologues, qui pensent que les Kaïméni n'ont point de cratère ouvert et ne sont que des îles formées par soulèvement, M. Virlet établit qu'elles sont terminées par une dépression cratériforme bien caractérisée : aussi, dit-il, Santorin est un véritable volcan, et il en est de lui comme de l'Etna et du Vésuve qu'on n'a jamais songé à sortir du nombre des volcans ordinaires, pendant leurs intervalles de repos ; et les Kaïméni se sont formées comme les îles Sabrina, Julia, etc.

Milo, au contraire, n'offre aucune trace de cratère d'éruption, malgré ce que l'on a écrit à ce sujet (3), et son sol, qui appartient en grande partie aux schistes argileux, a été altéré et modifié par des dégagements de gaz acide qui ont produit de véritables solfatares.

Après avoir comparé la direction des chaînes de la Morée et des terres voisines à la position qu'occupent les divers volcans de l'archipel grec, l'auteur conclut que ceux-ci ne forment point de chaînes continues et qu'ils ne se relient ni entre eux ni à ceux de la Thrace et de l'Asie-Mineure. Leurs roches sont des trachytes;

(1) Bull., vol. VII, p. 260. 1836. — *Compt. rend.*, vol. II, p. 531.
(2) *Descript. phys. des îles Canaries*, p. 398.
(3) *Ibid.*, p. 400.

or, M. Virlet a fait voir qu'en Grèce les trachytes étaient à la fois antérieurs, contemporains et postérieurs aux marnes subapennines. Ainsi cette roche n'y a point d'âge déterminé, et les volcans de la Grèce sont des volcans centraux et non en ligne. De plus, ils ne sont point l'origine des fractures du sol, mais ils ont profité des ouvertures rectilignes produites par le retrait de la masse intérieure et des fissures que déterminèrent les soulèvements. Ils sont donc la conséquence de ces derniers et non leur cause. Le soulèvement des chaînes produit trois fractures rectilignes parallèles, l'une, au milieu, formant la ligne de faîte, et les deux autres latérales suivant les dépressions des bases; et c'est le long de celles-ci que les matières volcaniques ou les roches ignées ont dû se faire jour de préférence.

M. l'abbé Pegues a publié plus récemment une histoire de Santorin (1), et il a traité, dans la seconde partie de son ouvrage, de l'origine volcanique de l'ancienne Théra ou Calliste des premiers Grecs; mais, peu versé dans l'étude de la géologie, et paraissant ignorer tout à fait les discussions auxquelles ce groupe d'îles a donné lieu, l'auteur n'a pu faire qu'un travail d'érudition, dans lequel il a réuni ce que les anciens avaient écrit sur l'apparition successive des îles *Camène*, situées dans le golfe de Santorin.

§ 5. Volcans d'Asie et des archipels qui en dépendent.

L'Asie occidentale, malgré les nombreuses traces de volcans dont son sol est recouvert, offre peu de montagnes qui aient été en activité dans les temps historiques. Ainsi M. Dubois de Montpéreux (2) ne cite qu'avec doute le témoignage de Reineggs qui mentionne des éruptions de l'Ararat le 3 janvier et le 22 février 1785. A l'entrée de la mer Rouge, des laves et des cendres s'échappaient il y a peu d'années de l'île de Djebel-Tar, où l'on exploite aujourd'hui du soufre. L'île de Périm, dans le détroit même, est aussi d'origine volcanique, et aux environs de Médine une montagne volcanique a eu des éruptions depuis la mort de Mahomet (3). Asie occidentale.

Plus au N., le Démavend, placé sur cette longue crête dirigée Asie centrale.

---

(1) *Histoire et phénomènes du volcan et des îles volcaniques de Santorin*, in-8, avec carte. Paris, 1842.

(2) *Voyage autour du Caucase*, etc. vol. II, p. 472.

(3) Botta, *Notes sur un voyage dans l'Arabie heureuse* (*Arch. du mus. d'hist. nat.*, vol. II, p. 82).

Digitized by Google

E.-O. qui relie le système du Taurus à celui de l'Hindou-kho et du Kouen-lun, paraît être aussi le seul fanal élevé par la nature actuelle pour éclairer le vaste plateau de la Perse, des bords de la Caspienne à ceux du golfe Persique. M. de Humboldt a fait connaître le volcan de Péchan (Mont-Blanc), situé dans la petite Boukharie, par 42°,25' de latitude (1). Depuis l'an 89 de notre ère jusqu'au commencement du VII^e^ siècle, il y a eu de véritables éruptions de lave, comme le constatent les détails donnés par un écrivain chinois du XVII^e^ siècle. M. de Humboldt avait d'ailleurs indiqué déjà dans ses *Fragments asiatiques* les rapports de toute la région volcanique de cette chaîne où le sel ammoniac est aussi très abondant.

Près d'Ouromusti, un espace d'environ 10 lieues de tour présente presque constamment des nuages de cendres. A l'O., la ville est dominée par une chaîne de montagnes, et diverses manifestations volcaniques rendent probable la communication de ces *fosses de feu et de cendres d'Ouromusti* avec le grand volcan de Tourfan ou de Ho-Tchou. Ce dernier est un cône isolé comme le Péchan, et situé à 180 lieues plus à l'O. L'époque la plus récente où il ait donné des signes d'activité n'est pas connue, mais les livres chinois d'histoire naturelle rapportent qu'il s'en échappe constamment des jets impétueux de feu et de fumée. La roche conique d'Aral-Toubé, au milieu du lac d'Ala-Koul, est aussi d'origine volcanique et a vomi des laves dans les temps historiques.

La plupart des documents que l'on possède sur les phénomènes ignés de l'Asie centrale ne sont pas le résultat d'explorations scientifiques; ils ont été recueillis dans les livres chinois, ou transmis par des voyageurs traversant le pays avec des caravanes de marchands qui font le commerce de la Chine avec la Perse, le Caboul ou la Sibérie russe; on peut donc dire que, sous ce rapport comme sous beaucoup d'autres, l'Asie centrale est encore une des parties les moins connues du globe.

Les îles étant d'un accès beaucoup plus facile que l'intérieur des grands continents, nous avons aussi des renseignements beaucoup plus précis sur les volcans qu'elles renferment et qui frappent les regards des navigateurs.

Iles de l'Océan indien.

M. Mc Clelland (2) a décrit le volcan de l'île de Narcandam, cône

(1) *Asie centrale*, vol. II, p. 31.
(2) *Reports of a committee*, etc., p. 39. Calcutta, 1838. —*Journ. asiat. Soc. of Bengal*, vol. VII, p. 65, 1 carte et 2 pl. de fossiles. 1838.

Digitized by Google

élevé de 220 à 250 mètres au-dessus de la mer, ainsi que les îles qui forment un petit archipel sur la côte d'Aracan, et dont la plus considérable est Rambree (1). Le pic principal de cette dernière atteint 1,000 mètres d'altitude. L'île Chaduba, qui en est peu éloignée, et une autre plus petite, ont encore la même origine. Dans cette direction, les phénomènes volcaniques s'étendent, comme on le voit, de 7° plus au N. qu'on ne l'a cru pendant longtemps, car l'île Barren, près de celle d'Andaman, avait été regardée comme la plus septentrionale de cette longue bande qui, se prolongeant au S.-E. par les îles de la Sonde, remonte ensuite au N.-E. par les Moluques et les Philippines.

On doit à M. E. Chevalier plusieurs renseignements sur les volcans de Sumatra (2). Cette île est partagée dans sa longueur par une chaîne de montagnes dont les sommets atteignent 5,000 mètres d'altitude. On y trouve des produits volcaniques de diverses époques et beaucoup de volcans en activité, entre autres le Gunong-Dempo, situé dans le nord-est de Bencoolen. Il s'élève à 3,750 mètres et fume constamment. Le Gunong-Berapi, placé sous la ligne près du lac Sophia, laisse dégager aussi des fumées et des gaz d'un cratère élevé de 4,000 mètres. A peu de distance, se trouve le Gunong-Kasumbra, point culminant de toute l'île. Le Gunong-Tattany, qui fume encore, n'a plus d'éruptions proprement dites. Le Gunong-Ayer-Raya, de 3,000 mètres d'élévation, le Gunong-Opi, au nord-ouest d'Indrapore, et le Gunong-Allas, dans l'intérieur de l'île, sont également cités d'après l'ouvrage du docteur Jack (3). Quelques observations géologiques ont aussi été faites dans cette île par le docteur Salomon Müller (4) et par d'autres naturalistes (5). Iles de la Sonde.

M. F. Junghuhn (6) a donné une description accompagnée d'une carte du district des montagnes volcaniques de Di-enz à Java. Il y signale plusieurs solfatares, des eaux thermales et des cônes d'éruption, restes d'une énorme montagne volcanique fort an-

(1) Foley, *Journ. asiat. Soc. of Bengal*, vol. IV.
(2) *Voyage autour du monde de la corvette* la Bonite. *Géologie et minéralogie*, in-8, p. 311. 1844.
(3) *Transact. geol. Soc. of London*, vol. I, p. 397.
(4) *Ann. de Berghaus*, 4e sér., vol. I, p. 262. 1842.
(5) *Bull. sc. phys. et nat. en Néerlande*, vol. I, 1838.
(6) *Monatsber. ub. d. verhand. der ges. f. Erk.* de *Berlin*, vol. II, nos 10, 12, p. 167, 174. 1841. *Ibid.*, vol. III, nos 7 et 9; p. 100, et 141, 180, avec 3 cartes.

ciennement écroulée et démantelée (1). Le mont Gédé a été aussi visité par le docteur Blum (2). Les îles de Timor, de Kambing et de Sumau ont été parcourues par le docteur Salomon Müller (3) et par d'autres voyageurs (4).

Iles Moluques. Le docteur Epp (5) a décrit, dans l'île de Banda, le Gunong-Ap, volcan fumant, dont le cratère laisse dégager des émanations sulfureuses qui ont décomposé en argile blanche les laves basaltiques. Le sol environnant est formé de laves, d'obsidienne et de ponce (6).

Iles Philippines. D'après M. Delamarche (7), l'île de Taal n'a que 4 kilomètres de long sur une largeur un peu moindre. Elle est située dans la lagune de Bongbong, dont la profondeur varie de 6 à 32 mètres, et dans le voisinage se trouvent deux anciens volcans qui ne forment aujourd'hui que des îlots. L'île est en partie occupée par une montagne nue, grise, d'un aspect calciné, à pentes rapides et sillonnées de larges fentes perpendiculaires à la crête, qui est dirigée N.-E., S.-O. Du sommet de cette crête, élevée de 106 mètres au-dessus de la mer, on embrasse d'un coup d'œil l'intérieur du volcan. Le cratère, d'environ 75 mètres de profondeur, est circulaire; son diamètre est d'un mille et demi, et sa paroi intérieure presque verticale. Le fond se trouve à 30 mètres au-dessus du niveau de la lagune. Le volcan se compose de deux enceintes concentriques, entre lesquelles on voit un lac rempli d'un liquide jaune dont la nature n'a pu être constatée, mais dont la surface était persemée de taches noires. Celles-ci paraissent se former très vite, restent en place, quoique ayant un faible mouvement d'ébullition, s'accroissent, puis

---

(1) Voyez de Buch, *Descript. phys. des Canaries*, trad. française, p. 416, atlas, pl. 20.

(2) *Russland*, 1841, p. 1219-1240.

(3) *Mémoires sur l'histoire naturelle des Indes orientales hollandaises*, avec planches. Leyde, 1841.

(4) *Ibid.*, avec carte géologique. — *Ann. de Berghaus*, vol. I, p. 254-255, 1842.

(5) *Neu. Jahrb.*, 1844, p. 786.

(6) Voyez aussi, sur les Célèbes, Buton, Amboine, Banda, Key, etc., *Ann. de Berghaus*, vol. I, p. 254, avec planches de coupes et vues, 1842, et Horner (*Neu. Jahrb.*, 1838, p. 3). — *Sur une éruption du volcan Goonter, à Préanger* (*N. notiz. de Froriep*, vol. XVI, p. 170. 1840). — *Une éruption à Ternate* (*Neu. Jahrb.*, 1843, p. 623).

(7) *Description des sources thermales et du volcan de Taal, dans les environs de Manille* (*Bull. de la Soc. de géographie*, vol. XIX, p. 79. 1842. — *Compt. rend.*, vol. XVI, p. 756. 1843).

Digitized by Google

s'effacent peu à peu. A l'intérieur de la seconde enceinte, il y a des monticules irrégulièrement disséminés, dont le plus remarquable est circulaire, régulier, et représente en petit l'aspect de la montagne tout entière. Il s'en échappe des tourbillons de fumée blanche, sulfureuse, épaisse, mais les éruptions de lave y sont rares. M. E. Chevalier (1) décrit le lac dont nous venons de parler, comme étant rempli de soufre, et environné de collines de même substance, qui brûlent presque constamment, comme l'avait observé Chamisso (2). En 1754, une éruption terrible détruisit le bourg de Taal, ainsi que plusieurs villages, et des flammes, dit le frère Jean de la Conception, s'élançaient de divers points du lac. L'Arringuay, autre volcan de cet archipel, eut une éruption en 1641, en même temps que Yolo et Mindano (3).

Iles Mariannes.

L'île de l'Assomption est un volcan brûlant, et la plupart des îles de l'archipel des Mariannes sont également volcaniques (4).

Iles du Japon

Les îles de Lieou-Khieou, entre l'île Formose et le Japon, et particulièrement l'île de Soufre, sont volcaniques. Les livres chinois ont fait connaître, dans l'île Formose, l'existence de deux volcans, de sources thermales et d'éruptions boueuses (5). La grande île de Kiousiou, la première du Japon, vers le S.-O., est très volcanique dans ses parties est et sud. La haute montagne des sources chaudes, à l'ouest du port de Simabara, présente plusieurs cratères qui rejettent une boue noire et de la fumée. Des éruptions violentes eurent lieu en 1793 au volcan de Biwo-no-Koubi et au mont Migigama. Des tremblements de terre ressentis alors dans toute l'île, ravagèrent une parti de la province de Figo, vis-à-vis de Simabara. Dans le détroit d'Aso, le volcan Aso-no-Yama rejette des pierres et laisse échapper des flammes, et la province la plus méridionale de Kiousiou, tout imprégnée de soufre et entièrement volcanique, est souvent le théâtre d'éruptions considérables.

L'an 764 de notre ère, trois nouvelles îles sortirent du fond de

---

(1) *Voyage de la corvette* la Bonite. *Géologie et minéralogie*, p. 228.

(2) Chorie, *Voyage pittoresque*, 1820, vol. II, pl. 5, et *in Kotzebue's Entdeckungreise*, vol. III, p. 69.

(3) Voyez aussi Halcon frères, *Carte hydrographique du lac et du volcan de Taal*.

(4) *Voyage de* la Bonite. *Géologie et minéralogie*, p. 216.

(5) De Humboldt, *Asie centrale*, vol. II. p. 540. — Id. *Fragments asiatiques*. — De Buch, *Descript. phys. des îles Canaries*, traduct. française, p. 439, pl. 13, fig. 1, 2. — *Compt. rend.*, 25 mai 1840.

Digitized by Google

la mer qui baigne le district de Kaga-Sima, et elles sont aujourd'hui habitées. Le phénomène le plus mémorable dont on ait conservé le souvenir au Japon eut lieu 285 ans avant J.-C. Un immense éboulement forma en une seule nuit le grand lac de Mitsou Oumi ou lac d'Oitz, dans l'île de Niphon; et en l'année 82 avant J.-C., l'île de Tsikou-bo-Sima, qui existe encore, s'éleva du fond de ce lac.

Le plus grand volcan du Japon, et en même temps le plus actif, est le Fousi-no-Yama, pyramide énorme, couverte de neiges éternelles et située dans la province de Sourouga. En 799 il eut une éruption qui dura plus d'un mois; une autre eut lieu en 800, et celles de 863 et 864 furent accompagnées de tremblements de terre. La dévastation produite par la dernière de ces éruptions s'étendit sur une surface de trente lieues, et la lave coula jusqu'à 4 lieues du cratère, en se dirigeant vers la province de Kaï. L'éruption de 1707 ne fut pas moins terrible par ses résultats.

L'île d'Osima renferme une montagne volcanique qui ressemble au Fousi-no-Yama. C'est la plus septentrionale de l'archipel. Un embranchement de la chaîne volcanique du Japon se dirige d'Osima au S., par les îles qui s'étendent jusqu'au 22° de lat. boréale. Ce sont les îles Fatsisio, Mounin-Senia, l'Archevêque, des Volcans et l'île de Soufre.

Sur la limite des provinces de Jetsisen et de Kaga se trouve le volcan de Sira-Yama, couvert de neiges perpétuelles, et dont les éruptions les plus remarquables eurent lieu en 1239 et 1554. Le mont Asama-Yama est un autre volcan très actif, situé au nord-ouest de Komaro, dans la province de Sinano. L'une de ses dernières éruptions, qui eut lieu en 1783, fut précédée d'un grand tremblement de terre, et beaucoup d'habitants périrent, soit engloutis, soit brûlés.

Le volcan le plus septentrional du Japon et qui paraît être constamment en activité est le Yaké-Yama, dans la presqu'île nord-est. Il en existe plusieurs autres dans les hautes chaînes qui traversent la province des Monts, et, en les suivant au-delà du détroit de Sangar, on trouve encore l'île volcanique de Koo-Sima, puis trois autres cimes également volcaniques, reliant avec la précédente la chaîne des volcans qui commence à Formose et se continue, par les îles Kourilles, jusqu'au Kamtchatka dont les montagnes ignivomes sont perpétuellement en activité.

L'Encyclopédie japonaise (p. 551), d'après une traduction de M. Stanislas Julien, rapporte au livre LVI que, vers l'an 1007 de J.-C.

Digitized by Google

(10e du règne de Mour-Wang), il y eut une montagne qui s'élança du milieu de la mer de Tan-lo (au sud de la Corée). Au moment où elle commença à s'élever au-dessus de l'eau, des nuages de vapeurs répandirent une obscurité profonde, et la terre était ébranlée comme par de violents coups de tonnerre. Les ténèbres ne se dissipèrent qu'après sept jours et sept nuits. La hauteur de l'île était de 1,000 pieds chinois, et sa circonférence de 40 lis. Son sommet éta enveloppé de fumée et de vapeurs, et, lorsqu'on la regardait de loin, elle ressemblait à une immense masse de soufre (1).

Péninsule du Kamtchatka.

M. Postels (2) a communiqué plusieurs observations sur les volcans du Kamtchatka. Ils sont au nombre de 14, à partir du mont Lapotka, et 9 d'entre eux sont aujourd'hui en activité. Les îles voisines en renferment aussi plusieurs. M. de Buch (3), après avoir réuni les principales observations faites récemment par l'amiral Krusenstern, par MM. E. Hoffmann, Postels et Lenz, de l'expédition du capitaine Lutké et par M. A. Erman, a exposé, d'une manière à la fois succincte et fort intéressante, l'histoire de ces volcans.

La plus grande partie de la presqu'île du Kamtchatka est traversée dans sa longueur par deux chaînes distinctes; l'une, occidentale, a une hauteur uniforme, ne s'élève point au-dessus de la région des arbres et ne présente pas de volcans; l'autre, orientale, qui regarde l'Amérique, n'est, au contraire, formée que de cônes et de pics gigantesques, souvent isolés, et qui sont pour la plupart des volcans brûlants.

Le Klutsckew est le plus grand et le plus actif d'entre eux. Il s'élève presque d'un seul jet, depuis le bord de la mer jusqu'à 14,656 pieds (4,800 mètres), d'après M. A. Erman qui a observé un courant de lave sortant d'un orifice situé à 227 mètres seulement au-dessous du sommet. Les vapeurs qui se condensaient pendant le jour formaient un nuage épais très étendu, et la nuit le cratère semblait rejeter encore des pierres enflammées. La largeur de ce cratère était d'environ 700 mètres. Vers le pied de la montagne et entourant une vallée profonde, on voit une roche composée de labradorite en très grands cristaux et de pyroxène. Elle ne paraît pas avoir coulé comme les laves, et constituerait la base du volcan

(1) Voyez aussi : *Géologie du Japon*, p. M. Ph.-Fr. Siebold (*Nippon archiv. zur Beschreibung von Japon*, in-4 et carte in-fol.).

(2) *Mém. de l'Acad. des sc. de St-Pétersbourg*, vol. II. 1833, 1835. — *L'Institut*, 21 déc. 1836.

(3) *Descript. phys. des îles Canaries*, traduct. française, p. 446, et atlas, pl. XIII, fig. 3. — *Compt. rend.*, vol. II p. 469. 1836.

Digitized by Google

qui présente ainsi une certaine analogie avec l'Etna. Les fumerolles déposent du soufre en grande quantité sur la neige, et quand celle-ci vient à fondre, elle entraîne le soufre qui se dépose sur le bord des ruisseaux, où les habitants le recueillent.

A l'est du Kamtchatka les îles Aléoutiennes forment une chaîne qui, limitant au S. la mer de Béhring, rattache les volcans dont nous venons de parler à ceux du nord de l'Amérique. La plupart de ces îles sont encore volcaniques, et M. Wrangel (1) a donné quelques détails sur deux hautes montagnes de la côte occidentale du passage de Cook et sur les feux volcaniques d'Unimak et de St-Paul, où une éruption eut lieu le 2 avril 1836.

§ 6. Volcans des îles de l'Océan Atlantique.

Iles Açores. La *Description des Açores* par le capitaine Boyd (2), dit M. de Buch (3) à qui nous empruntons ce qui suit, contient beaucoup de faits importants pour la connaissance de cet archipel. On ne peut plus douter que cette réunion d'îles dirigées du S.-E. au N.-O. ne doive être regardée comme une immense crevasse sur laquelle se sont élevés des cratères de soulèvement qui souvent se réunissent pour ne former qu'une île, car celle de Ste-Marie, la seule qui soit située hors de la direction générale vers le S.-E., n'est plus volcanique. Mais à cet égard nous ferons remarquer que, si cette dernière n'a point de volcan moderne ou en activité, elle n'en est pas moins d'origine ignée, et même assez récente, comme nous l'apprend M. T.-C. Hunter (4). Il semble que le *fémur* d'un grand animal, signalé d'abord dans des schistes, provenait en réalité de couches de sédiment comprises entre deux nappes basaltiques, et le soulèvement du Pico-Alto aurait donné à l'île son relief actuel. Nous reviendrons d'ailleurs plus tard sur le mémoire de M. Hunter.

L'île de St-Michaël (san Miguel) présente des phénomènes volcaniques très variés, quoique aucun volcan central ne s'y soit jamais ouvert. En 1445 une montagne remplaça la plaine qui existait auparavant sur la côte nord-ouest. D'un immense cratère situé vers la cime sortaient des torrents d'eau et de boue, des pierres, des

(1) *Beitrage z. Kennt. d. russ. Reichs*, vol. I, p. 168, 176. 1839.
(2) *Descript. of the Azores*. 1835.
(3) *Descript. phys. des îles Canaries*, traduct. française, p. 365.
(4) *On the geology*, etc. Sur la géologie de l'île de Ste-Marie, l'une des Açores (*Quart. Journ. geol. Soc. of London*, vol. II, p. 39. 1846).

scories et des cendres qui s'étendirent sur les flancs de la montagne appelée *Alagoa los sete cidades*. M. de Buch ne doute pas que cette gibbosité ne constitue un cratère de soulèvement dont le fond est occupé par deux lacs. La circonférence de ses bords est de 15 milles, et celle du fond de 9 milles; sa hauteur au-dessus de la mer est de plus de 650 mètres. Depuis lors il n'y a point eu d'éruptions ni par le cratère, ni sur ses flancs.

M. Boyd a donné des éruptions de St-Michaël une liste qui doit être consultée et où se trouve également indiquée l'élévation de plusieurs îles, qui toutes ont disparu après un temps plus ou moins long, jusqu'à celle de Sabrina, sortie des eaux le 13 juin 1811. Cette dernière fut engloutie au mois d'octobre suivant, et depuis cette époque aucun phénomène violent n'a troublé le repos de St-Michaël (1).

L'île de Terceira possède un cratère de soulèvement à 6 milles au nord-ouest d'Angra. Des vapeurs abondantes sortent des fissures qui s'ouvrirent à la suite du tremblement de terre de 1614 qui détruisit la ville de Praya. C'est le dernier mouvement qui se soit manifesté dans l'île. Le cratère nommé *Furnas d'Euxofre* est entouré de collines de pierres ponces. L'éruption de 1761 est la seule connue.

L'île de St-Georges, située près de la communication centrale ouverte par le Pico, est aussi celle qui paraît être la plus agitée. Une éruption eut lieu en 1580, et les courants de lave s'étendirent alors jusqu'à la mer. A plusieurs reprises, des îlots s'élevèrent du fond de celle-ci, puis disparurent. En 1757 on en vit jusqu'à 18 qui furent également engloutis peu d'années après. Une grande éruption décrite par M. Dabney eut lieu au mois de mai 1808. Le Pico a eu d'ailleurs d'autres éruptions, telles que celles de 1572, et la dernière en 1718 qui s'est effectuée du côté occidental de la montagne (2).

---

(1) Au mois de mars 1721, une éruption sous-marine eut lieu entre l'île St-Michaël et Terceira. Les pierres ponces recueillies ressemblaient à celles de Stromboli. Le plan de la nouvelle île fut levé et envoyé par M. de Montagnac. L'année suivante, l'île avait disparu, et il ne restait plus qu'un brisant à sa place (*Compt. rend.*, vol. VI, p. 302. 1838).

(2) Voyez aussi : *Résumé des observations géologiques faites pendant un voyage aux îles Madère, Porto-Santo et aux Açores, de* 1835 *à* 1836, par le comte de Vargas de Bedmar (en portugais), in-8. Lisbonne, 1837.

Digitized by Google

Iles Canaries. L'excellente *Description physique des îles Canaries*, qui fut publiée à Berlin en 1825, est trop connue pour que nous en parlions ici, si ce n'est pour rappeler qu'une traduction française, due à M. Boulanger (1), a permis à beaucoup de personnes de mieux profiter de l'ouvrage de M. le baron de Buch. Les additions importantes que l'auteur a faites à l'énumération des principaux volcans de la terre, et le magnifique atlas qui accompagne son livre, en font le plus précieux manuel que l'on possède encore sur cette partie importante de la géologie. MM. Barker Webb et Salieu Berthelot, dans leur *Histoire naturelle des Canaries* (2), ne nous paraissent pas avoir beaucoup ajouté à ce que l'ouvrage précédent nous a fait connaître sur la géologie de cet archipel.

Il n'en est pas de même des recherches auxquelles s'est livré plus récemment M. Ch. Deville, et sur lesquelles M. Élie de Beaumont a fait à l'Académie des Sciences un rapport dont nous extrairons d'abord quelques faits généraux (3). La roche qui forme le massif principal du pic de Ténériffe renferme de nombreux cristaux de feldspath oligoclase (4), et se distingue nettement du manteau de matières fragmentaires plus récentes qui la recouvrent presque en entier, ainsi que les coulées, la plupart d'obsidienne à base d'oligoclase, qui descendent le long des pentes supérieures. Cette roche fondamentale est d'ailleurs presque toujours très altérée par les vapeurs sulfureuses qui s'échappent encore du cratère, bien qu'il ne paraisse pas y avoir eu de véritable éruption depuis les temps historiques. Le pic et la montagne de Chahorra sont aussi composés de roches à base d'oligoclase, comme le noyau solide du cône supérieur et les laves vitreuses des dernières éruptions du volcan. Cette substance joue par conséquent ici le même rôle que l'orthoclase dans les trachytes du mont Dore et le labradorite dans les produits de l'Etna.

---

(1) *Description physique des îles Canaries, suivie d'une indication des principaux volcans du globe*, in-8, atlas in-fol. de cartes, vues et coupes. Paris, 1836.

(2) Vol. II, p. 277. Paris, 1839.

(3) *Compt. rend.*, vol. XXII, p. 1117. 1846.

(4) M. Deville avait fait connaître auparavant (*Compt. rend.*, vol. XIX, p. 46. 1844) que le feldspath de plusieurs produits de Ténériffe, d'âges différents, appartenait à l'oligoclase. Cette substance n'était encore connue que dans des roches éruptives anciennes, particulièrement dans celles de la Suède et de la Silésie.

Digitized by Google

Les trachytes n'occupent cependant à Ténériffe qu'une surface assez restreinte, comparée à celle des roches basaltiques qui recouvrent, en dehors du cirque, la presque totalité de l'île, et dont le feldspath est du labradorite. Au-dessus des assises basaltiques, vient la *tosca*, espèce de tuf blanchâtre qui forme autour de Ténériffe une ceinture de hauteur variable, mais assez régulière. Ce tuf avait servi à M. de Buch pour établir la séparation des éruptions basaltiques des phénomènes plus récents ou cônes de scories et peut-être des produits actuels.

Ces derniers, quoique le plus ordinairement à l'état de roches vitreuses, ont rarement le caractère de la véritable obsidienne, et ils renferment des cristaux qui paraissent être de l'oligoclase. Beaucoup d'éruptions particulières ont formé des cônes de scories, et M. Deville en a signalé un grand nombre sur le revers extérieur du cirque, du côté de *Fuente Agria*. La matière fondue s'y est fait jour à l'angle de redressement de ces nappes épaisses qui constituent le grand cirque, ligne de fracture qui pouvait en effet leur offrir une moindre résistance.

Dans une note particulière (1), le même géologue, après avoir énuméré les diverses roches qui constituent le groupe des îles Canaries, puis établi leur âge respectif, a recherché quelle avait été la série des phénomènes qui les avaient amenées au jour. La théorie des cratères de soulèvement lui paraît rendre très bien compte de la relation du pic de Ténériffe avec les escarpements circulaires qui l'entourent, ainsi que des dépressions centrales de Palma et de Canaria; aussi admet-il, avec M. de Buch, la disposition des volcans en ligne et celle des volcans centraux, quoiqu'à la vérité ces derniers lui paraissent fort peu nombreux et pouvoir même se rattacher presque toujours à quelques grandes lignes de soulèvement.

Il insiste plus loin sur la nécessité d'avoir égard à la composition minéralogique des massifs volcaniques. En effet, les produits de certains volcans, tels que ceux de l'Etna, depuis les plus anciens qui constituent les assises inférieures du Val-del-Bove jusqu'aux laves récentes, sont caractérisés par la même substance qui, ainsi

(1) *Bull.*, 2e sér., vol. III, p. 465. 1846. — Le grand ouvrage de M. Ch. Ste-Claire Deville a pour titre : *Voyage géologique aux Antilles et aux îles de Ténériffe et de Fogo*, in-4. Paris, 1847. Dans la 1re livraison, qui a paru depuis la rédaction de notre travail, les planches 1, 2 et 3 sont consacrées à l'île de Ténériffe.

que nous l'avons dit, est le feldspath labrador; sous ce rapport, l'Etna peut être considéré comme un *volcan simple*. Le Vésuve, au contraire, dont les laves actuelles sont à base de ryacolithe, serait un volcan composé, car les roches de la Somma et les tufs ponceux environnants sont, comme nous l'avons vu, à base d'amphigène. Ténériffe, Canaria, et même Palma, rentreraient dans cette seconde classe, puisque le trachyte avec oligoclase et le basalte avec labradorite y jouent des rôles différents.

En considérant la disposition relative des trachytes et des basaltes de Ténériffe, l'auteur pense que les sommités du cirque constituaient un îlot trachytique au pied duquel se sont étendues les nappes basaltiques. Au point même où existe le pic, il se serait produit une faille suivant laquelle les trachytes ont été redressés. « La direction de cette faille est donnée par une ligne orientée » N. 25° E., et suivant laquelle les basaltes de Cumbre, après avoir » brisé les trachytes, ont fait éruption depuis le sommet d'Ysana » jusqu'à l'extrémité nord-est de l'île, recouvrant, sur tout cet es- » pace, la roche ancienne sous des assises dont le nombre est quel- » quefois prodigieux. Les îles basaltiques de Lancerote et de Forta- » ventura s'alignent aussi dans cette même direction parallèle à celle » des côtes voisines d'Afrique et particulièrement au rameau de » l'Atlas qui y termine le Maroc; direction qui coupe le méridien » à peu près sous le même angle que le ferait, dans cette position, » le grand cercle de soulèvement des Alpes occidentales. »

Si ces éruptions basaltiques se rapportaient à ce dernier soulèvement, les trachytes anciens de Ténériffe et des Canaries deviendraient contemporains du terrain tertiaire moyen ou de la mollasse, et les assises basaltiques de Palma, où les trachytes ne se montrent plus qu'au fond du cirque, se seraient formées pendant la période subapennine à laquelle appartiendraient aussi les calcaires qui alternent sur quelques points avec les produits ignés. Le pic de Ténériffe ne s'est élevé sur la ligne de fracture précédente qu'après le soulèvement des grandes Alpes et de l'Atlas. Celui-ci se dirige parallèlement à ces dernières montagnes et se trouve terminé à ses extrémités, comme l'a remarqué M. Renou, à l'E. par l'Etna et à l'O. par le pic de Ténériffe, deux cônes volcaniques à peu près de même hauteur et égaux aussi aux principales sommités de la chaîne intérieure.

M. Deville développe, en terminant, quelques considérations sur les volcans centraux qui se trouveraient aux points d'intersection

Digitized by Google

de deux ou de plusieurs lignes de fractures; idée qu'avaient déjà émise F. Hoffmann pour les îles Lipari (1) et M. Darwin pour les îles Gallapagos.

Iles du cap Vert.

L'île de Fogo, signalée par Smith comme étant probablement le seul volcan de l'archipel du cap Vert, attira aussi l'attention de M. Deville, à qui l'on doit la première bonne description de ce point intéressant (2). Au N.-E., le pic de Fogo s'élève par une pente continue jusqu'à une hauteur de près de 3,000 mètres. De même qu'au Vésuve, la montagne se compose d'un cône circonscrit d'un côté par un rempart demi-circulaire et détruit dans la partie qui regarde la mer. Les nappes basaltiques qui entourent l'île, et se terminent sur les côtes par des falaises très escarpées, paraissent avoir coulé sur des pentes très faibles. La muraille, presque verticale, qui forme l'escarpement intérieur du grand cirque, se compose d'une multitude d'assises basaltiques alternant avec de conglomérats et traversées par des filons verticaux ou inclinés qui s'entrecoupent comme à Ténériffe, à Palma, à la Somma et dans le Val-del-Bove. Le fond de ce grand cirque est occupé par une plaine semblable aux *Canadas* de Ténériffe ou à l'*Atrio-del-Cavallo* du Vésuve. Cette plaine, élevée de 1,712 mètres au-dessus de la mer, est un peu bombée vers son milieu, d'où s'élance brusquement le cône hardi du pic.

Le pic de Fogo est très régulier, et ses pentes très rapides ont de 35 à 40°. Sa hauteur totale est de 2,790 mètres, ou plus de 1,000 mètres au-dessus de la plaine qui lui sert de base. Cette dernière élévation est donc à peu près double de celle du cône du Vésuve au-dessus de l'*Atrio-del-Cavallo*. Le cône n'est composé que d'assises épaisses de basalte, à pâte foncée et très péridotique, alternant avec des conglomérats, le tout fortement redressé vers le sommet. Le diamètre du cratère qui termine le pic paraît être d'environ 500 mètres et sa profondeur de 250 à 300. L'intérieur est formé par un basalte solide, de telle sorte que le pic semble résulter du redressement des grandes assises de cette roche. Nulle part on n'aperçoit de coulées qui se seraient épanchées et auraient été recouvertes successivement pour constituer le cône; aucune même ne s'est échappée

(1) *Ann. der chem. u. physik* de Poggendorff, vol. XXVI, p. 81.
(2) *Compt. rend.*, vol. XXII, p. 1283. 1843. — *Soc. philomatique*, 25 avril 1846. — *L'Institut*, id. — *Bull.*, 2e sér., vol. III, p. 656. 1846. — *Voyage géologique*, etc., in-4, 1re liv., pl. 5 et 6 Paris, 1847.

Digitized by Google

de la cime. Les plus élevées sont sorties très peu au-dessus du fond du cirque.

Dans les éruptions de 1769, 1785 et 1799, les laves se sont frayé un passage par des fentes situées vers la base du pic et qui se prolongeaient dans le plan de son axe. Elles ont coulé principalement du côté de l'échancrure du grand cirque, puis, se précipitant vers la côte, elles se sont jetées dans la mer, où elles ont formé des brisants. Toutes ces circonstances, enfin, rappellent encore le Vésuve, mais il y a de plus de nombreux cônes de scories dans la partie de l'île située derrière la crête du cirque, tandis qu'on n'en observe pas sur le revers extérieur de la Somma.

Nous citerons le passage suivant du rapport adressé au gouverneur général de l'Archipel du cap Vert par l'autorité portugaise de l'île de Fogo, à la suite de l'éruption récente du volcan qui, depuis 48 ans, n'avait donné aucun signe d'activité.

« J'ai l'honneur d'informer votre excellence que ce jour, 9 avril » 1847, à sept heures sept minutes du soir, un roulement souter- » rain a fait trembler la terre et s'est répété à sept heures vingt- » quatre minutes, puis à huit heures sept minutes avec plus de » violence. En ce moment le volcan a ouvert ses cratères; une » épaisse fumée s'en est échappée et a couvert l'horizon; puis, au » milieu des rochers énormes lancés en l'air et d'une pluie de » cendres, il a versé, par sept bouches, des fleuves de lave ardente » qui ont pris la direction du couvent du St-Sacrement, en dé- » vorant sur leur passage les animaux, les établissements et les plan- » tations de manioc et de vigne. De là ils ont poursuivi leur che- » min jusqu'à la mer, en employant environ quatre heures pour » parcourir trois milles de distance, et s'y sont jetés en continuant » d'y verser leurs torrents liquides dont le flot grossissait de plus » en plus (1). »

Côte M. Allen (2) a décrit la baie d'Ambozes, au fond du golfe de

(1) Le journal *le Constitutionnel* du 22 juillet et du 4 novembre 1847, d'après le *Journal du Havre*. — A ce sujet, l'auteur de l'article rappelle que dans les laves vomies lors des éruptions antérieures, et dont les nappes ont successivement recouvert le sol, on a trouvé une quantité considérable d'arêtes de poissons et de débris calcinés provenant de productions marines, qui indiqueraient une communication entre la mer et les profondeurs du volcan.

(2) *Proceed. roy. geogr. Soc. of London*. — *Bull. de la Soc. de géographie*, 3e sér., vol. I, p. 133, 1844.

Digitized by Google

Guinée, comme étant dominée par une montagne de 3,962 mètres de hauteur. Cette montagne est formée par la réunion de plusieurs massifs distincts d'origine volcanique. Les scories et les coulées de lave se prolongent jusqu'à la mer. Le volcan paraît avoir été en activité à une époque très récente. La cime la plus élevée est le Mongo-ma-Lobah. occidentale d'Afrique.

Les caractères volcaniques de l'île de l'Ascension étaient bien connus depuis le voyage du capitaine Basil Hall, et MM. Brandreth et Power (1) sont venus confirmer ce que l'on savait déjà à cet égard. Ils représentent la surface de l'île comme très accidentée par des montagnes, des collines et des ravins. La plus grande élévation du *Peak* (pic) est de 875 mètres, et le plateau d'où il s'élève se trouve à 366 et 600 mètres au-dessus de la mer. Ces voyageurs décrivent ensuite les roches argileuses, les tufas, les cendres, les scories, les laves et les trachytes qu'ils ont observés dans leurs excursions à travers l'île. Ile de l'Ascension

L'Ascension, dit M. Ch. Darwin (2), est un triangle irrégulier dont les côtés ont environ six milles de long, et dont la pointe la plus élevée est la montagne Verte (*Green mountain*). Les roches trachytiques occupent la partie haute et centrale de l'île. Elles sont d'un brun pâle, généralement compactes, avec de petites taches noires, des cristaux de feldspath vitreux et du fer spéculaire. Presque tout le tour de l'île est couvert de masses rugueuses noires, formées par des courants de laves basaltiques, et au milieu desquelles se montrent encore çà et là quelques lambeaux de trachyte. Les flancs de la montagne Verte sont recouverts, sur une épaisseur de plusieurs centaines de pieds, par des fragments incohérents qui paraissent avoir été rejetés d'un cratère peu éloigné; et, à la suite d'une violente dislocation du sol, il s'est produit, par enfoncement, un cirque ovale au pied même de la montagne. Ses parois, presque perpendiculaires, ont environ 122 mètres de hauteur, et sont formées, vers la base, de basalte feldspathique, tandis que, vers le haut, ce sont des tufs volcaniques et des roches fragmentaires incohérentes qui dominent. Le grand axe est dirigé N.-E., S.-O., dans la direction de la fente.

---

(1) *Journ. roy. geogr. Soc. of London*, vol. V, p. 243. 1835.

(2) *Geological observations*, etc. Observations géologiques sur les îles volcaniques, etc., in-8, p. 34. Londres, 1844. — *Journal and Remarks*, etc. in-8, p. 586. Londres, 1839.—W. Hennah, *Proceed. geol. Soc. of London*, vol. II, p. 189. 1835.

Digitized by Google

M. Darwin fait remarquer que des enfoncements semblables, quoique moins étendus, se voient souvent à la base des petits cônes d'éruption des îles Gallapagos.

Des fragments de syénites, de roches de quartz et de feldspath, de feldspath blanc avec amphibole, etc., ont été rejetés avec les scories qui les enveloppent. Outre les roches trachytiques et les laves basaltiques dont nous avons parlé, on trouve encore, à la surface de l'île, une grande quantité de collines composées d'une pierre friable, tendre, semblable à un tuf trachytique, mais sans stratification apparente. Ces diverses roches sont traversées par d'innombrables filons, de 2 à 15 centimètres d'épaisseur, de pierre dure, compacte et un peu vitreuse. La silice, à l'état de jaspe et de calcédoine, est aussi très répandue dans les trachytes altérés, et y forme beaucoup de veines irrégulières.

Les Antilles. A la suite de secousses de tremblement de terre, une sorte d'éruption boueuse, résultant d'un mélange d'eau et de cendres, eut lieu le 12 février 1836 au volcan de la Guadeloupe (1). Le 3 décembre de la même année, il y eut une éruption de la soufrière, accompagnée de lave pulvérulente et de cendres, et les anciens volcans du sud de l'île se seraient aussi mis en pleine activité en même temps que la soufrière (2). En analysant des cendres provenant de diverses éruptions, depuis 1797 jusqu'à 1836, M. Dufrénoy (3) a constaté que toutes étaient identiques, quant à leurs éléments, mais que les proportions de ces derniers étaient différentes. Les formules déduites de ces analyses rapprocheraient ces substances, soit du ryacolithe, soit du labradorite, et ce dernier minéral présenterait, comme le pyroxène, des variétés à base de chaux, et d'autres à base de chaux et de fer. Ces cendres diffèrent d'ailleurs beaucoup de celles de l'Etna (4).

M. de Buch a fait cette remarque importante (5), que les îles volcaniques des petites Antilles (la Grenade, Saint-Vincent, Sainte-Lucie, la Martinique, la Dominique, la Guadeloupe, Montserrat, Nieves, Saint-Christophe et Saint-Eustache) étaient disposées à la suite les unes des autres, sans être séparées par des îles non vol-

---

(1) *Compt. rend.*, vol. IV, p. 651. 1837.
(2) *Note sur le volcan de la Guadeloupe*, par M. Lherminier (*Compt. rend.*, vol. IV, p. 294. 1837).
(3) *Ibid*, p. 746.
(4) Élie de Beaumont, *Ibid.*, p. 743.
(5) *Descript. physique des îles Canaries*, p. 493.

Digitized by Google

caniques, et qu'à l'est de cette chaîne, une autre série d'îles moins élevées, et arquée parallèlement à la précédente, était composée d'îles exclusivement calcaires, telles que Tabago, la Barbade, Marie Galante, Grande-Terre, la Désirade, Antigua, Barbuda, San-Bartholomeo et Saint-Martin. A l'ouest de la chaîne volcanique, il n'y a point d'îles calcaires. D'une part, la série volcanique paraît être en relation immédiate avec les montagnes primitives de Caracas, et de l'autre, sa courbure au N.-O. la rattacherait aux protubérances granitiques de Porto-Rico, de la partie sud de St-Domingue et des montagnes Bleues de la Jamaïque.

D'après M. Ch. Deville, qui a fait une étude particulière de la Guadeloupe (1), la soufrière de cette île est un cône volcanique élevé de 1484 mètres au-dessus du niveau de la mer, et de 331 au-dessus du plateau qui le supporte. Les pentes du cône n'ont pas moins de 40°. Son sommet est inabordable dans beaucoup de directions, et dans d'autres on n'y parvient que par des escaliers taillés dans la roche. Il est entouré, excepté du côté du sud, par une ceinture régulière de montagnes moins élevées et de composition différente. Ce massif volcanique, composé d'une roche solide, n'est à proprement parler qu'un dôme trachytique excavé au sommet. La dépression centrale, peu profonde, nommée *petite plaine*, offre des assises peu épaisses, très nombreuses et des produits cinériformes ou fragmentaires.

Le soufre provient uniquement de fumerolles qui s'échappent du flanc et du sommet de la montagne. Celle-ci est traversée du N. au S. par une déchirure appelée *la grande fente*, et suivant laquelle se manifestent les vapeurs sulfureuses. A son extrémité nord, une caverne autrefois fort étendue, mais que des éboulements ont en partie obstruée, présente, sur ses parois, du gypse cristallisé et des eaux chargées d'alun. Les murs verticaux qui terminent la grande fente en cet endroit sont aussi tapissés de soufre. Les vapeurs sulfureuses s'échappent encore par d'autres orifices, mais avec un sifflement très aigu. A l'extrémité sud de la grande fente, une éruption de cendres, dont nous avons déjà parlé, s'est manifestée au mois de décembre, et à la suite il s'est formé un nouvel orifice dont les phénomènes diminuèrent successivement d'intensité, lorsqu'au mois de février 1837 une nouvelle éruption produisit vers

(1) *Société philomatique*, 9 janvier 1847. — *L'Institut*, id. — *Bull.*, 2e sér., vol. IV, p. 428. 1847.

le N.-O. des cônes nombreux et des fumerolles abondantes. Ces dernières perdent d'autant plus de leur intensité que celles du centre en acquièrent davantage.

Pendant le repos du volcan, la quantité de vapeurs sulfureuses qui se dégagent est à peu près constante. Les petites éruptions en augmentent momentanément l'intensité, et déplacent les centres d'activité. Sur ces divers points la roche est profondément altérée, et l'on y voit tous les passages, depuis le trachyte solide et cristallin jusqu'à une argile complétement décolorée. Des dépôts siliceux, semblables à ceux des geysers, s'observent aussi dans leur voisinage, à la surface des roches.

M. Deville ayant constaté que la température des fumerolles du pic de Ténériffe, à la hauteur de 3700 mètres, était de 84°, que celle des fumerolles de la Guadeloupe atteint 95 à 96°, et que les fontaines bouillantes, situées au niveau de la mer, sont des jets de vapeur à 100°, est conduit à penser qu'il pourrait y avoir une certaine relation entre la température des vapeurs et l'altitude à laquelle elles s'échappent au-dehors (1).

§ 7. Volcans d'Amérique.

Mexique. M. J. Burkart (2) a écrit sur l'éruption attribuée au Jorullo en 1819, et sur celle du volcan de Tustla ou Tuxtla, en 1664 et 1793. Il pense qu'il n'y a rien de réel dans celle du Jorullo, ancien volcan éteint ne dégageant plus que des vapeurs sulfureuses. On a signalé aussi (3), près de Jalapa (Xalapa), une ville mexicaine qui aurait été ensevelie sous un courant de lave.

Guatémala. M. Caldcleugh (4) a rendu compte de l'éruption du volcan de

(1) Voyez aussi : *Ann. maritimes et coloniales*, octobre 1842, où sont mentionnés des volcans sous-marins dans l'Atlantique.

(2) *Neu. Jahrb.*, 1835, p. 236. — *Aufenthalt und Reisen in Mexiko*, etc., de 1825 à 1834. Observations sur le pays, ses productions. Considérations minér. et géologiques sur l'art des mines, météorologie, etc, avec une carte géol. de Zacatecas, 11 pl. de vues et coupes, 2 vol. in-8. 1835-1836.

(3) *Neu. Jahrb.*, 1837, p. 214.

(4) *Some account of the volcanic eruption*, etc. (*Philos. Transact. roy. Soc. of London*, 1836, part. I, p. 27). — Il est probable que c'est à cette éruption que se rapportent les détails donnés par M. de Buch (*Descript. phys. des îles Canaries*, p. 507), d'après M. J. Galindo, qui indique la date du 20 janvier 1835, au lieu du 9 janvier 1834. Voyez aussi : *Edinb. new phil. Journ.*, janvier 1836. — *Bibl. univ. de Genève*, 3e sér., vol. III, p. 414.

Digitized by Google

Cosiguina dans la baie de Fonseca, le 9 janvier 1834, après 26 ans de repos. Les cendres rejetées pendant cette éruption furent portées jusqu'à Chiapa, à 400 lieues au N. A la Jamaïque, à 700 milles au N.-E., les cendres tombèrent le 24 et le 25 janvier, ayant parcouru environ 170 milles par jour. Le ciel fut obscurci sur toute l'île, qui se trouva couverte de cendres très fines. Enfin, à une distance de 900 milles en mer ou de 1100 milles du volcan, l'eau était encore couverte de pumite flottante dont plusieurs fragments avaient un volume assez considérable. M. Élie de Beaumont (1), qui a examiné ces cendres, a trouvé que la proportion de ryacolithe y était plus considérable que dans celles du volcan de la Guadeloupe. M. Dufrénoy (2) a constaté, d'un autre côté, que la partie soluble s'écartait assez du labradorite pour former une espèce distincte, tandis que les grains insolubles s'éloignaient aussi du ryacolithe par la prédominance de la soude et la différence des rapports atomiques des éléments.

M. Boussingault (3), dans la relation de son ascension au Chimborazo, exécutée le 16 décembre 1831, dit (p. 175) que, comme le Cotopaxi, l'Antisana, le Tunguragua, et en général les montagnes qui hérissent les plateaux des Andes, la masse du Chimborazo est formée par l'accumulation de débris trachytiques amoncelés sans ordre. Ces massifs ont été soulevés à l'état solide, et rien n'indique qu'il y ait eu fusion ou même simple ramollissement. Dans les volcans de l'équateur, aucun caractère ne peut faire présumer qu'il y ait jamais eu de coulées de lave. Il n'est sorti de leurs cratères que des déjections boueuses, des fluides élastiques, et des blocs incandescents de trachytes plus ou moins scorifiés. Le trachyte n'est point stratifié à la base de la montagne. La roche est grise avec des cristaux de feldspath vitreux. Elle se relève vers le centre et présente des crevasses d'autant plus larges et plus profondes qu'elles s'en rapprochent davantage. Le sol de Quito (4) est déchiré par ces mêmes crevasses appelées *guyacos*. Elles ont de 10 à 13 mètres de large, et de 23 à 26 de profondeur, et elles sont presque

Province de Quito.

---

(1) *Compt. rend.*, vol. V, p. 76. 1837.
(2) *Ibid.*, vol. IV, p. 746.
(3) *Ann. de chim. et de phys.*, vol. LVIII, p. 150. 1835. — *Edinb. new phil. Journ.*, vol. XIX, p. 88. 1835. — *Ann. der chem. und physik* de Poggendorff, 1835, p. 216.
(4) De Humboldt, *Ann. des mines*, vol. XV, 3ᵉ sér., p. 481.

perpendiculaires à la ligne de faîte du volcan qui constitue une masse allongée de 16000 mètres.

Dans ses *Recherches chimiques sur la nature des fluides élastiques qui se dégagent des volcans de l'équateur* (1), M. Boussingault a conclu que ces fluides sont les mêmes dans les différents volcans et consistent en vapeur d'eau, en gaz acide carbonique, et en gaz acide hydrosulfurique. L'azote et l'acide sulfureux y sont accidentels, l'un provenant du mélange de l'air atmosphérique, l'autre de la combustion de la vapeur de soufre abondante dans tous les volcans.

D'après M. de Humboldt (2), il n'y a pas de dépendance nécessaire entre le maximum d'élévation et la nature de la roche mise au jour. Au Mexique, où tous les volcans ont surgi le long d'une crevasse qui coupe l'isthme et la chaîne presqu'à angle droit, les sommets volcaniques qui s'élèvent au-dessus des neiges perpétuelles sont composés de trachyte, d'andésite et de dolérite. Sur le plateau de Quito, les points culminants sont parmi les cônes et les *cloches* de dolérite; mais sur le même plateau, à peu de distance du Chimborazo et du volcan de Tunguragua, les hauts *nevados* de Condarosto, Cuvillan et Collanes, sont composés de micaschiste.

Dans une autre communication faite à l'Académie de Berlin (3) le même savant a décrit la chute du volcan de Capac-Urcu (*Altar de los Collanes*) en 1462, et dont la hauteur dépassait probablement celle du Chimborazo. L'affaissement du Carguairazo, en 1698, couvrit une surface très considérable d'un dépôt vaseux renfermant des poissons, et la catastrophe du Rio-Bamba ou du tremblement de terre du 4 février 1797 ne fut pas moins terrible.

La chaîne volcanique des Andes présente trois types pittoresques très différents : 1° les volcans brûlants, avec leur orifice au sommet,

---

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, vol. LII, p. 5.

(2) *Observations géognostiques et physiques sur les volcans du plateau de Quito*, trad. de l'allem. par M. Lalanne (*Ann. des mines*, 3ᵉ sér., vol. XVI, p. 411).—Voyez aussi : *Ann. de chim. et de phys.*, vol. LXIX, p. 345. 1838. — *Notice sur deux tentatives d'ascension au Chimborazo* (*Ibid.*, p. 401. 1838. — *Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXIII, p. 291. 1837.—*Acad. de Berlin*, 1837.—*Neu. Jahrb.*, 1837, p. 253, 284, 463. *Ibid.*, 1838, p. 638-664. M. de Humboldt avait déjà donné quelques aperçus sur ce sujet (*Journ. de phys.*, 1803, vol. LVII, p. 193. — *Vues pittoresques des Cordilières.* — *Ann. des sc. naturelles*, p. 225, mars 1825).

(3) 14 novembre 1839. — *L'Institut*, 25 juin 1840.

Digitized by Google

et laissant dégager des flammes, sont en général coniques comme le Cotopaxi; 2° les dômes arrondis en coupoles alpines, comme le Chimborazo; 3° les sommets déchirés, à bords découpés, des cratères éteints, restes d'anciennes catastrophes, tels que le Carguairazo et les doubles pyramides de l'Illinissa et de l'Altar.

Dans le plateau qui se prolonge entre les deux Cordillères, depuis *los Pastos* jusqu'à la crête transverse de l'Assuay, sur 50 milles géographiques du N. au S., tous les massifs volcaniques du Pichincha, de l'Antisana, du Cotopaxi, du Chimborazo, les volcans éteints d'Yana-Urcu, etc., sont, à très peu d'exceptions près, composés d'un mélange porphyrique de cristaux d'augite et de labradorite. Le Puracé, près de Popayan, appartient encore à ces roches doléritiques, très différentes des trachytes et de l'andésite. Dans le massif du Tunguragua, l'ouralite paraît remplacer l'augite. C'est d'ailleurs le seul point où ce minéral, si répandu dans l'Oural, et que l'on retrouve à Predazzo et à Clausen en Tyrol, ait encore été signalé dans le nouveau monde.

La *moya* est une masse combustible qui, sur divers points, comme à Pélileo et Igualata, a fait éruption lors du tremblement de terre de Riobamba. Elle paraît s'être épanchée sous forme de boue, et constitue de petits cônes. D'après M. Ehrenberg, la *moya*, dont les Indiens se servent pour cuire leurs aliments, est composée pour moitié de débris de matières organiques carbonisées. On y trouve des plantes dicotylédones au milieu de cristaux de labradorite, des graminées décomposées qui forment la partie principale de la masse charbonnée, puis des carapaces d'infusoires siliceux, le tout intimement mélangé de labradorite. Ce dépôt occupe le grand bassin de Hambato à Pélileo, et a été soulevé par suite des secousses de tremblement de terre.

M. Roulin (1) a fait connaître quelques particularités du volcan brûlant de Tolima, situé sur la pente orientale de la chaîne moyenne des Andes, non loin d'Ibagui, et MM. S. Wisse et G. Garcia Moreno ont donné récemment un extrait de leur exploration du volcan Rucu-Pichincha, pendant le mois d'août 1845 (2). Cette tentative

---

(1) *Compt. rend.*, vol. IV, p. 253. 1837.
(2) *Bull.*, 2e sér., vol. II, p. 511, 1846, avec plan et coupes. — *Compt. rend.*, vol. XXIII, p. 26. 1846. — *Rapport de M. Boussingault*, *Ibid.*, vol. XXIV, p. 945, 1847. — *Quart. Journ. geol. Soc. of London*, n° 10, mai 1847, p. 28.

Digitized by Google

très périlleuse, et qui a été couronnée d'un plein succès, avait plutôt pour objet de déterminer les caractères orographiques du volcan, que son étude géologique proprement dite.

Pérou. D'après M. Warden (1), on a découvert depuis peu dans la province de Truxillo une ville entière ensevelie à la suite d'une éruption volcanique. La catastrophe paraît avoir été soudaine, et aurait surpris les habitants au milieu de leurs occupations.

Chili. M. Gay (2) n'admet au Chili que cinq volcans en activité, qui sont ceux de S. Clemente, d'Yanquigue, de Rinique, de Villarica et d'Antujo; les autres qui ont été mentionnés seraient ou des volcans éteints, ou des doubles emplois dans les noms. Nous devons faire remarquer à cet égard que non seulement M. de Buch (3) indique vingt-quatre volcans, depuis celui de S. Clemente, placé le plus au S., par 46° de latitude, jusqu'à celui de Coquimbo, situé par 30° 5', mais encore que M. Darwin, dans sa carte de la partie méridionale de l'Amérique du Sud (4), en indique aussi un beaucoup plus grand nombre que M. Gay.

Le volcan d'Antoio ou d'Antuco (probablement Antujo de M. Gay et de M. Darwin) a été décrit par M. Ed. Poepping (5). Il s'élève du milieu d'un cirque basaltique ou d'un immense cratère de soulèvement. De vastes courants de lave, réunis vers le cône du volcan, semblent se précipiter sur les flancs escarpés de la montagne. Les laves ne sont point basaltiques, mais renferment beaucoup de pyroxène et des cristaux de feldspath blanc. Toutes les coulées paraissent être sorties non loin du plateau qui couronne la vallée. Un lac de 5 à 6 lieues d'étendue se voit au pied nord du cône. Celui-ci s'élance très haut dans la région des neiges, et à sa cime est un cratère d'où plusieurs crevasses laissent dégager des vapeurs acides, suffocantes, et du soufre qui se dépose sur les parois. Aucun courant de lave ne s'est épanché par ce sommet; tous, au contraire, sont partis du pied du cône pour se jeter dans les vallons environ-

(1) *Compt. rend.*, vol. VI, p. 180. 1838. — Voyez aussi : Pentland, *Herta*, 1829, vol. XIII. — *London geographical Journal*, 1835, vol. V.

(2) *Bull. Soc. géographique de Paris*, vol. X, p. 45.

(3) *Descript. des îles Canaries*, p. 464-476.

(4) *Geological observations*, etc. Observations géologiques sur l'Amérique du Sud, in-8. Londres, 1846

(5) *Voyage au Chili et au Pérou, et sur le fleuve des Amazones*, de 1827 à 1828, 2 vol. in-4, avec atlas. Leipsick, 1835. — *Ann. de Berghaus*, vol. XV, 3e sér., vol. III, p. 217.

Digitized by Google

nants. En 1828, un courant de lave très considérable est sorti au nord par de grandes ouvertures, et répandait la nuit une lumière si vive qu'elle était aperçue à une distance de 40 lieues. Ainsi, dans cette partie du globe, si hérissée de volcans, il ne sort, par le cratère central, que des matières gazeuses ou pulvérulentes. L'élévation du cône de l'Antuco ne serait pas moindre de 16,000 pieds, et, de son sommet, M. Poepping (p. 429) a reconnu l'existence d'un autre volcan actif situé vers l'E., dans l'intérieur des Andes encore inconnues de la Patagonie, ainsi qu'une grande quantité de dômes et de pics d'apparence trachytique. Il semblerait alors, dit M. de Buch (1), qu'il existe deux chaînes de volcans assez éloignées l'une de l'autre, et placées entre 35° et 38° de latitude S. Mais la carte de M. Darwin, dont nous venons de parler, ne paraît pas confirmer cette induction.

M. Darwin (2) a déduit de l'examen des volcans de l'Amérique méridionale, que la croûte du globe doit reposer au Chili sur un lac de roches fondues, qui éprouve des changements lents. Si on le niait, dit-il, il faudrait admettre que des canaux aboutissant aux divers points d'éruption doivent se réunir à quelque foyer placé très profondément.

Le savant voyageur décrit ensuite brièvement les divers groupes de volcans des Cordillères. Le plus méridional s'étend du volcan d'Yntales au volcan central du Chili, sur une longueur de 800 milles géographiques; le 2ᵉ, d'Aréquipa à Pataz, sur un peu plus de 600 milles; le 3ᵉ, de Riobamba à Popayan, sur une longueur de 300 milles environ. Plus au nord, il y a dans le Guatémala, le Mexique et la Californie, trois autres groupes éloignés les uns des autres de plusieurs centaines de milles. Il est probable qu'il y a communication entre les orifices de chaque groupe; mais ces derniers ne paraissent pas être en relation entre eux pour former un seul et même système (3).

---

(1) *Descript. des îles Canaries*, p. 469.

(2) *On the connexion*, etc. Sur la connexion de certains phénomènes volcaniques dans l'Amérique du Sud, et sur la formation des chaînes de montagnes et des volcans, comme effet de la même force qui a soulevé les continents (*Transact. geol. Soc. of London*, vol. V, p. 601. — *Proceed. id.*, vol. II, p. 654. — *Bull.*, vol. IX, p. 352).

(3) Voyez aussi : *Excursion au lac de Quetrupe, Putu ou Llanquihua, vis-à-vis Chiloe*, par M. O. Philippi (*Monatsber. üb. d. Verh. d. Ges. f. Erdk. in Berlin*, p. 195. 1843).

Digitized by Google

§ 8. Volcans des îles du Grand Océan.

Côtes du Chili. D'après une lettre du capitaine Escoffier (1), un groupe d'îles serait sorti de la mer, à 5° à l'ouest de Valparaiso, le 12 février 1839, à 7 heures 15 minutes du soir, entre 33 et 34° lat. S. Une de ces îles s'éleva à la hauteur de Juan-Fernandez. Des secousses de tremblement de terre ont été ressenties, et des manifestations lumineuses semblaient être produites par l'éruption d'un volcan. Une première île se montra d'abord, changeant souvent de forme pendant la journée ; puis deux autres parurent au sud de la première. Elles étaient alignées toutes trois du N. au S. La mer battait leurs rivages avec violence, et entre elles on distinguait des chaînes de rochers où il se produisit une forte explosion. Plus tard, l'île la plus septentrionale demeura seule, ayant la forme d'un pain de sucre ; les autres avaient disparu. Suivant le rapport d'un autre capitaine de navire, ces îles s'étaient montrées à 30 lieues à l'est de Juan-Fernandez.

Iles Gallapagos. L'archipel des îles Gallapagos, encore imparfaitement connu par les relations de quelques navigateurs et par les observations du capitaine Basil Hall, a été récemment décrit avec beaucoup de détail par M. Ch. Darwin (2). Il est situé sous l'équateur, à 500 ou 600 milles de la côte occidentale de l'Amérique, et se compose de cinq îles principales et de plusieurs petites. Toutes sont volcaniques ; deux d'entre elles ont des cratères en activité, et sur d'autres il existe des laves récentes. Les plus considérables sont formées de roches solides, qui constituent des montagnes de 350 à 1,250 mètres d'élévation. Les cratères y sont fort nombreux, de grandeur variable, et atteignent jusqu'à plusieurs milles de circonférence.

Dans l'île Chatham il y a des cratères composés, les uns de tuf peu solide ou friable, ressemblant à des cendres légèrement agglutinées, les autres de roches solides, compactes et très singulières. Celles-ci sont fragiles, d'un brun jaunâtre, translucides, d'un éclat

(1) *Bull. Soc. géographique de Paris*, 2e sér., vol. XI, p. 345 et 361. — *N. Notiz. de Froriep*, vol. X, p. 298. 1839. — Caldcleugh, *Proceed. geol. Soc. of London*, vol. III, p. 146.

(2) *Geological observations*, etc. Observations géologiques sur les îles volcaniques visitées pendant le voyage du vaisseau *le Beagle*. Londres, 1844. — *Journal and remarks*, etc., p. 453. Londres, 1839

Digitized by Google

résineux, à cassure irrégulière, anguleuse, quelquefois légèrement grenue et même cristalline. On y remarque beaucoup de cristaux de péridot, de pyroxène, des fragments de scorie et des veinules calcaires. La structure en est ordinairement noduleuse et concrétionnée. L'auteur pense que cette roche résulte d'un changement chimique qui aurait eu lieu dans certaines parties des produits scoriacés, modifications dont on peut suivre les divers degrés sur un même fragment. Ces cratères de substances tufacées se trouvent près des côtes, et peut-être se sont-ils formés sous les eaux.

A l'extrémité orientale de l'île, on remarque de petits cratères basaltiques très nombreux, dont le diamètre varie de 30 à 150 mètres, et qui sont élevés de 18 à 35 mètres au-dessus de la plaine. Ils sont espacés à 30 mètres les uns des autres, et de petits courants de lave noire, basaltique, avec péridot et feldspath vitreux, ont coulé de la plupart d'entre eux. On observe sur quelques points, surtout à la base des petits cratères, des enfoncements circulaires, à parois presque verticales, de 6 à 12 mètres de hauteur, et que M. Darwin regarde comme résultant de l'effondrement de la croûte dans des cavernes intérieures. On trouve, dans d'autres endroits, des monticules semblables à d'énormes bulles ou ampoules de lave, crevassées au sommet.

Il y a, dans l'île d'Albermale, cinq grands cratères qui atteignent de 1,100 à 1,400 mètres d'élévation. L'un des plus considérables a plus de 3 milles de diamètre. D'immenses courants de lave se sont épanchés par ces vastes orifices et par de petites ouvertures situées près de leur sommet. De très grands cristaux d'albite sont enveloppés dans cette lave, comme la leucite dans celle du Vésuve, et l'olivine dans le basalte de Lancerote; mais ces substances, d'après M. Darwin, seraient étrangères à la pâte enveloppante, laquelle, par cette raison, ne doit pas être regardée comme porphyrique, ainsi que nous le dirons plus loin.

A un mille de *Banks'Cove* on remarque encore un beau cratère elliptique qui a environ 152 mètres de profondeur et 3/4 de mille de diamètre. Le fond est occupé par un lac d'eau saumâtre d'où s'élèvent quelques monticules cratériformes composés de tuf. Les couches qui constituent la montagne plongent très régulièrement en dehors, sous des angles de 25 à 30°, et le talus extérieur est couvert d'espèces de bandes en relief, rayonnant du sommet vers la base du cône, où elles s'élargissent. Ces bandes, qui ont de 3 à 12 mètres de largeur, sont séparées par de profondes rigoles et parais-

Digitized by Google

sent résulter du refroidissement et de la solidification de la croûte superficielle des courants de boue qui se sont épanchés par le cratère. Le tuf aurait ainsi coulé comme de la boue formée soit dans le cratère même, soit avec les cendres de sa partie supérieure entraînées par les pluies torrentielles.

L'île James renferme deux cratères de tuf. L'un, situé à un demi-mille de Puerto-Grande, a 122 mètres de profondeur, et présente, vers la partie inférieure de sa cavité, une muraille de basalte. Le fond est occupé par un lac d'eau saumâtre recouvrant des lits de sel qui reposent sur une boue noire et épaisse.

D'après les caractères de ces montagnes et de ces collines de tuf, leur position et la faible quantité de cendre qu'on y trouve rejetée sur divers points de l'archipel, M. Darwin conclut que le tuf a été surtout produit par le broiement de fragments de laves dans les cratères en activité et communiquant avec la mer. L'origine et la composition de ce même tuf, la présence fréquente d'un lac central d'eau saumâtre et de bancs de sel, rappellent en outre, quoique sur une échelle gigantesque, les salses et les volcans boueux dont nous nous sommes occupés précédemment. Dans cette circonstance, néanmoins, leur relation intime avec des actions volcaniques ordinaires se trouve démontrée par les nappes basaltiques qui les avoisinent.

Tous les cratères de tuf des îles Gallapagos sont plus ou moins démantelés au S., ou entre le S.-E. et le S.-O., ce qui n'a pas lieu pour les cratères de laves et de scories et se trouve d'accord avec la direction dominante des vents dans ces parages. Lorsque ces cratères étaient immergés, l'action désagrégeante des vagues se faisait sentir du même côté sur tous ces cônes de matières meubles, tandis qu'elle ne pouvait produire un résultat semblable sur les laves solides et compactes; mais il est plus probable encore que ces dernières se sont accumulées à l'air libre, au-dessus des eaux, après l'émersion en masse de l'archipel.

Les roches basaltiques des îles du nord renferment particulièrement de l'albite, et souvent l'olivine lui est associée, tandis que le pyroxène et l'amphibole y sont rares. Les véritables trachytes, l'obsidienne et les pumites ne paraissent pas se rencontrer dans ces îles. L'absence de cette dernière substance dans les roches de l'Etna avait fait penser à M. de Buch que cela pouvait tenir à ce que le feldspath de ce volcan était du labradorite; mais M. Darwin croit que s'il en était ainsi, on pourrait s'étonner qu'elle manquât également dans les

Digitized by Google

îles Gallapagos, dont le feldspath est de l'albite, comme dans les Andes, où la pumite se trouve au contraire fréquemment. La rareté des cendres volcaniques et l'inaltérabilité générale des laves de cet archipel ne permettent pas qu'une végétation active puisse s'y développer ; aussi ces îles ne présentent-elles qu'un aspect triste et monotone.

Quant à la direction des fentes d'éruption, on reconnaît que, dans l'île d'Albermale, les trois grands cratères sont alignés du N.-O. au S.-E., et que les autres sont disposés sur trois ou quatre lignes parallèles à celle-ci. Quelques îles et certaines bouches volcaniques d'Albermale sont rangées sur d'autres lignes parallèles entre elles, mais perpendiculaires aux précédentes, de telle sorte que les principaux cratères paraissent se trouver à l'intersection des deux systèmes de fissures. Ces îles ne sont pas en général allongées dans la direction des lignes sur lesquelles elles se trouvent, mais leur direction est presque la même que celle qui domine si remarquablement dans les nombreux archipels du grand Océan. En outre, comme pour la plupart des groupes d'îles volcaniques, il n'y a point dans celui-ci de sommités qui s'élèvent beaucoup au-dessus des autres. La grande montagne située à l'extrémité sud-ouest de l'île d'Albermale dépasse à peine de 300 mètres les cratères environnants (1).

Les phénomènes volcaniques se sont manifestés et se manifestent encore dans les îles Sandwich sur la plus vaste échelle ; et le grand nombre de navigateurs et de naturalistes qui les ont visitées dans ces derniers temps nous permettront d'en présenter un tableau plus complet qu'on n'avait encore pu le faire. Iles Sandwich.

L'archipel d'Hawaï ou des Sandwich, dit M. Eug. Chevalier (2), se compose de huit îles principales et de plusieurs îlots. Hawaï, la plus grande d'entre elles, située au sud du groupe, est de forme triangulaire et n'a pas moins de 100 lieues de tour. Le Mouna-Roa, qui la surmonte dans sa partie méridionale, atteint 4838 mètres d'élévation au-dessus de la mer. L'île Mavi, située au nord de la précédente, a 50 lieues de tour et se trouve aussi dominée par une montagne volcanique de 3300 mètres de hauteur, mais qui n'est plus en activité ; Morokaï est également volcanique. Oahou, la plus belle et la plus riche de toutes, est divisée par une chaîne de mon-

(1) Voyez aussi : de Tessan, *Voyage de la frégate* la Vénus, vol. V, p. 230.

(2) *Voyage autour du monde de la corvette* la Bonite (de 1836 à 1837). *Géologie et minéralogie*, in-8, p. 186. Paris, 1844.

Digitized by Google

tagnes alignées dans la même direction que les îles, mais dont l'altitude ne dépasse pas 1200 mètres. Atoeï ou Tauaï et Nihau sont encore fertiles et populeuses. Enfin, au-delà, est une suite d'écueils volcaniques ou madréporiques qui se continuent vers le N.-O jusqu'à plus de 700 lieues. M. Chevalier fait remarquer qu'en supposant que cette série d'aspérités indique un soulèvement, il est assez singulier que le point le plus élevé, le Mouna-Roa, se trouve précisément à l'une des extrémités de la ligne, et qu'au-delà, vers le S.-E., on n'en retrouve plus de traces. La grande hauteur de l'île d'Hawaï et l'absence de récifs de polypiers à son pourtour la lui font aussi regarder comme la plus récente du groupe.

Non seulement Hawaï est la plus considérable de cet archipel, mais c'est aussi la plus élevée de toutes les îles du globe, et le point ou le relief de la surface terrestre est le plus prononcé. Si l'on admet en effet que la profondeur moyenne de l'Océan soit de 3000 mètres, et qu'elle se trouve à une petite distance de l'île, ce qui est très probable, on a une différence de près de 8000 mètres entre la longueur de deux rayons terrestres fort voisins. Les pics de l'Himalaya, qui atteignent cette altitude, se trouvent à une grande distance de l'Océan indien.

L'île présente trois cimes principales : le Mouna-Roa (4838 mètres), le Mouna-Kaa (4267 mètres) et le Mouna-Hararaï (3374 mètres) (1). Sur plusieurs milliers de pieds d'élévation, ces montagnes sont couvertes de vastes prairies et de forêts; au-delà les roches sont nues et stériles. De larges coulées de lave s'étendent sur leur pente, et quelques unes, après avoir parcouru 30 à 40 milles, se sont précipitées dans la mer du haut des rochers abruptes qui bordent le rivage (2).

(1) Ces mesures, que nous adoptons comme les plus récentes, diffèrent non seulement de celles qui ont été données successivement par Cook, King, Fleurieu, Kotzebue et Horner, mais encore de celles qu'a obtenues M. Douglas et qu'il a exprimées en pieds anglais, aussi bien que de celles données par M. de Buch (*Descript. phys. des Canaries*, p. 382) et exprimées en pieds de roi. Il résulte de ces différences un fait important : c'est que, d'après MM. Douglas et de Buch, le Mouna-Kaa serait la plus haute sommité de l'île, et dépasserait le Mouna-Roa de 590 pieds de roi ou 191 mètres.

(2) M. E. Chevalier rapporte que, d'après une ancienne tradition, l'île avait été couverte par la mer, excepté le sommet du Mouna-Kaa, où deux êtres humains, sauvés de la destruction générale, étaient devenus la souche de la population actuelle. Par quel étrange con-

Digitized by Google

Le sommet du Mouna-Roa, plus élevé que le Mont-Blanc de 28 mètres, que l'Etna de 1538 mètres, et que le pic de Ténériffe de 1125 mètres, est constamment couvert de neige. Il fut atteint pour la première fois, le 29 janvier 1834, par M. David Douglas (1), qui détermina la latitude de ce point remarquable, et la fixa à 19° 27′ 4″.

Les trois volcans en activité que l'on trouve dans l'île d'Hawaï sont aujourd'hui les seuls de tout l'archipel. Ce sont le Mouna-Hararaï, le Kirauea et le Ponahohoa. Le Mouna-Hararaï, situé près de la côte occidentale, a eu sa dernière éruption en 1801. Son sommet n'a pas encore été atteint, et sur ses flancs plusieurs ouvertures laissent dégager des vapeurs acido-sulfureuses. Le courant de lave qui sortit du grand cratère au commencement de ce siècle combla une baie de 20 milles de largeur, et forma la côte actuelle de cette partie de l'île (2).

Le volcan de Kirauea, placé sur la pente nord-est du Mouna-Roa, a été décrit par M. Douglas (3), qui le visita en 1832, et M. de Buch (4) a déjà fait connaître les principaux résultats des observations de ce voyageur. M. Kelly (5) a donné plus tard la relation de l'ascension faite le 8 mai 1838 par MM. Chase et Parker, et nous en extrairons ce qui suit :

Après avoir traversé une région couverte de bois, ces voyageurs atteignirent une immense coulée de lave récente, sur laquelle ils marchèrent tout le reste de la journée. Cette coulée avait environ 30 milles de long sur 4 à 5 milles de large. Le lendemain vers neuf heures du matin, ils trouvèrent un lac de soufre et de scories, puis une fente de 160 à 190 mètres de long sur 10 de large, ouverte à peu de distance du cratère. Il en sortait d'immenses nuages de vapeurs chaudes qui, se condensant dans l'air, retombaient non loin de là pour former un lac dont l'eau était excellente. Vers dix heures,

---

cours de circonstances, ce mythe, que l'antique Asie a légué à l'Europe et qui existait aussi chez les Indiens du nouveau monde, se retrouve-t-il encore sur ces îlots perdus dans l'immense Océan?

(1) *Journ. roy. geograph. Soc. of London*, vol. IV, p. 333 1834. — Hooker, *Comp. Bot. magaz.*, vol. II, p. 161-175.

(2) *Remarks on the geol. features*, etc. Remarques sur les caractères géologiques de l'île d'Hawaï (*Amer. Journ.*, vol. XL, p. 117. 1841).

(3) *Journ. roy. geograph. Soc. of London*, vol. IV, p. 333. 1834.

(4) *Descript. physique des îles Canaries*, p. 381.

(5) *Amer. Journ.*, vol. XL, p. 117. 1841. — *Bull.*, vol. XII, p. 121. 1841.

Digitized by Google

MM. Chase et Parker atteignirent le bord du grand cratère, élevé de 1178 mètres au-dessus de la mer. Sa profondeur est de 250 à 300 mètres. Sa forme est une ellipse de 8 milles de circonférence (1), et dont le grand diamètre est dirigé N.-S. Le terre-plein qui en constitue le fond présentait 26 cônes dont la hauteur variait de 7 à 20 mètres. Huit d'entre eux étaient alors en activité.

Le grand cratère renfermait 6 lacs de lave en fusion. L'un d'eux, placé au S.-O., occupait à lui seul plus d'espace que tous les autres réunis. Une portion considérable de sa surface était embrasée; d'énormes vagues de feu venaient se heurter contre ses bords, pendant que des colonnes de lave s'élevaient jusqu'à 20 mètres dans l'air. Peu d'instants après, ce lac n'offrait plus qu'une masse de scories; puis soudain la croûte se brisa, et ses débris roulèrent sur la lave liquide, comme des glaçons sur l'Océan. Vers le milieu, on remarquait une île de scories que la lave ne recouvrait jamais, et sur laquelle elle se balançait, semblable à un vaisseau sur une mer orageuse.

MM. Chase et Parker, après avoir traversé le fond de cette partie du grand cratère, arrivèrent au bord d'un escarpement de 13 à 14 mètres de hauteur, et qui dominait un second enfoncement dont l'étendue leur parut être du quart de la totalité du cratère. Ils y descendirent, et se trouvèrent sur un terre-plein sillonné d'innombrables fissures, qui laissaient voir le feu à 2 centimètres seulement de la surface. La croûte était en général si mince partout, que l'on pouvait la percer avec un bâton. Le soufre abonde dans toutes les parties du volcan, et forme des escarpements qui ont plus de 300 mètres de hauteur.

M. J. Couthouy (2), dans une lettre datée d'Honolulu-Oahu, le 28 octobre 1840, dépeint ainsi le spectacle que lui offrit le cratère de Kirauea ou de Ka-Lua-Pels. C'est, dit-il, une vaste excavation de 325 mètres de profondeur et de 6 milles de circonférence, que l'on peut comparer à une immense chaudière remplie de lave bouillante et jaillissante, et entourée de murailles à pic, excepté sur

(1) Cette évaluation paraît être non moins différente que celle des altitudes. Ainsi M. de Buch, d'après M. Douglas (*loc. cit.*), indique 15 à 16 milles. Le cratère intérieur, de 6 milles 1/4, suivant M. Douglas, n'aurait que 2 milles d'après M. J. Loewenstern (*Soc. roy. géograph. de Londres*, 9 mars 1840. — *The Athenæum*, 14 mars 1840).

(2) *Amer. Journ.*, vol. XL, p. 200. 1841.

Digitized by Google

un point où l'on peut y descendre par une pente rapide. La surface, par moments, est noire comme de l'encre, et un instant après elle se trouve éclairée par des rivières, des lacs, des colonnes jaillissantes d'un fluide rouge de sang, qui s'élève à 15 ou 20 mètres, et retombe ensuite en masses imposantes. L'aspect de cet ensemble est vraiment infernal. La nuit le tableau était magnifique et saisissant au-delà de toute expression. Les éclairs fréquents, les sifflements aigus et les sourds mugissements des explosions, donnaient l'idée de quelque grande cité en flammes, et où se fussent trouvées çà et là des poudrières ou des mines faisant continuellement explosion.

Le Vésuve, poursuit M. Couthouy, n'est à proprement parler qu'un jeu d'enfant auprès du cratère de Kirauea. Un peu avant notre arrivée, la lave s'était fait jour sur un nouveau point, à environ 6 milles au N.-E., et se dirigeait vers la mer, en formant un courant de 40 milles de long sur 1 à 7 de large. La lumière qui s'en dégageait se voyait d'une distance de 100 milles. Elle atteignit la mer en cinq jours, renversa sur son passage trois collines de 40 à 80 mètres de hauteur, s'avança de 650 mètres dans la mer, en avant de la côte, sur une largeur de 3/4 de mille, et chauffa l'eau d'une manière très sensible jusqu'à une distance de 15 milles de chaque côté. Cette élévation de température se prolongea si loin que les poissons morts furent amoncelés par myriades sur la côte où les vagues les poussaient. La chute du courant de lave dans la mer fut accompagnée d'affreux sifflements et de détonations semblables à celles d'une décharge d'artillerie continue.

M. J. Shepherd (1) a gravi le Kirauea au mois de septembre 1839, et a publié de cette ascension une relation plus étendue, et qui paraît être aussi plus complète que celle de ses prédécesseurs. Il décrit, ainsi que l'avait fait M. Douglas, le cratère proprement dit comme entouré de trois murailles concentriques, subcirculaires, formées de laves endurcies, et dont la plus intérieure a 325 mètres de hauteur. Le diamètre du cratère est de 3 milles, et ses bords sont irrégulièrement découpés. De petits cônes nombreux et fumants sont disséminés à sa surface. Vers la partie orientale se trouve un grand lac de lave liquide, d'un mille de long sur un demi-mille de large, et entouré par une muraille de lave solide de 32 mètres de hauteur.

---

(1) *Soc. roy. géograph. de Londres*, 8 nov. 1840. — *The Athenæum*, 14 nov. 1840.

Digitized by Google

Les espaces annulaires qui séparent la muraille extérieure de la seconde, et celle-ci de la troisième, paraissent être le résultat d'enfoncements successifs.

Le fond du cratère semble d'ailleurs se relever très rapidement. En 1824, il était de 250 à 300 mètres plus bas que lors du voyage de M. Shepherd, et, dans l'espace de 16 ans, les éruptions auraient apporté plus d'un mille cube de lave (4,164,609,529 mètres cubes). S'il en est de même encore pendant 18 ou 20 ans, le fond se trouvera élevé au niveau de la muraille de 325 mètres, qui le borde aujourd'hui; mais il est probable que de nouveaux effondrements se produiront d'ici là.

Les observations recueillies par M. Gairdner (1) conduisent encore à la même conclusion : ainsi, d'après le rapport des habitants, le fond du volcan, il y a 40 ans, était rempli par l'eau de la mer, et se trouvait presque au même niveau. Le cratère était alors entouré de quatre enceintes circulaires, qui ont été successivement remplies, et la plus élevée seule subsiste encore actuellement (1835) (2). M. Gairdner indique dans le cratère des blocs de granite enveloppés par la lave. M. Douglas y avait aussi trouvé des grès entourés de même; mais M. Goodrich n'a vu aucune trace de roche stratifiée dans les parties les plus basses de l'île, sur les bords de la mer, et paraît douter de l'assertion de M. Douglas.

M. Storer (3) a décrit aussi une éruption du volcan d'Hawaï, au mois d'octobre 1840, et M. le comte de Strzelecki a également publié les observations qu'il a faites sur le cratère de Kirauea (4). Enfin l'île paraît être traversée de l'E. à l'O. par une série de cratères qui partent du Mouna-Roa.

Une étude géologique et minéralogique attentive reste donc encore à faire du volcan le plus remarquable de la terre par l'énergie des phénomènes qu'il présente, comme par la vaste échelle sur laquelle ceux-ci se manifestent. Nous avons insisté sur les descrip-

---

(1) *Soc. géog. de Londres*, 21 janv. 1841. — *Ibid.*, 6 fév. 1841.

(2) Cette dernière assertion et plusieurs autres de M. Gairdner se trouveraient contredites par ce que nous venons de rapporter, d'après MM. Douglas et Shepherd.

(3) *Edinb. new phil. Journ.*, juillet 1842. — *Bibl. univ. de Genève*, vol. XLI, p. 395.

(4) *Tasmanian Journ. nat. sc.*, vol. II, p. 32. 1843. — Voyez aussi : de Roon, *Nouvelle ascension au volcan de Kirauea* (*Neu. Jahrb.*, 1841, p. 717, 719).

Digitized by Google

tions plus pittoresques que scientifiques qu'on en a données jusqu'à ce jour, pour montrer combien les voyageurs étaient unanimes sur la magnificence et la grandeur du spectacle qu'ils avaient eu sous les yeux, et ensuite pour indiquer que la diversité des aspects sous lesquels chacun d'eux l'a dépeint semble due aux modifications et aux changements rapides qu'éprouve, dans ses caractères extérieurs, cette immense officine de la nature.

M. Gairdner, dans son esquisse physique et géologique de l'île d'Oahou (1), en a décrit les roches volcaniques et les bancs de coraux, et M. Amos Eaton a fait connaître quelques uns des résultats du voyage de M. Ball (2). D'après ce dernier, Oahou renferme une montagne volcanique de 1,000 à 1,200 mètres d'altitude, et le long de la côte on remarque des collines cratériformes qui, malgré l'épais manteau de verdure dont elles sont revêtues, laissent encore reconnaître leur origine ignée. A un mille d'Honolulu, ville principale de l'archipel, est un de ces cratères appelés *punch bowl* (bol de punch). Le premier gradin que l'on monte pour arriver au sommet est formé de bancs de coraux, en partie brûlés ou calcinés, et élevés de 80 à 100 mètres au-dessus de la mer. La pente est ensuite plus rapide, et l'on atteint une ceinture de rochers qui entoure un bassin de verdure de 1/2 mille de tour. Sur un seul point ce rebord offre une brèche qui permet de descendre jusqu'au fond du cratère.

Nulle part, dans ces îles, non plus que dans les innombrables archipels situés plus au S., on ne trouve d'autres roches que des produits ignés ou des bancs de coraux. Ainsi les vagues de l'immense Océan roulaient autrefois de l'Amérique à la Chine et à la Nouvelle-Hollande sans un îlot qui interrompît leur course, jusqu'à ce que les zoophytes eussent élevé leurs remparts circulaires du milieu desquels s'échappaient les volcans (3).

---

(1) *Edinb. new phil. Journ.*, vol. XIX, p. 1, et XX, p. 206. 1835. — *Bibl. univ. de Genève*, 2e sér., vol., I, p. 379.

(2) *Geology and meteorology*, etc. Géologie et météorologie de la partie occidentale des Montagnes Rocheuses, etc. (*Amer. Journ.*, vol. XXVIII, p. 1. 1835).

(3) Voyez aussi, sur les îles Sandwich, un mémoire de M. G. Schaeffer (*Schrift. d. in St-Petersburg Gestift. Russ. k. Ges. f. d. Ges. mineralog.*, 1842, vol. I, p. 193-198). — *The Athenæum*, nos 909, 910. — *Bibl. univ. de Genève*, vol LVI, p. 286. 1845.

Digitized by Google

§ 9. Volcans des îles de l'Océanie et du grand Océan austral.

Océanie. M. de Tessan (1) a signalé, comme volcanique, l'île d'Isabelle, élevée seulement de 95 mètres au-dessus des eaux. Le cratère est rempli d'eau salée qui paraît se trouver au niveau même de la mer. Le bassin est circulaire et n'a que 8 mètres d'eau. Au-dessus de la lave se trouve un conglomérat de 0,60 d'épaisseur et un banc de coraux.

L'île St-Paul, située par 38° 45′ lat. S. et 77° 53′ long. E., est, d'après MM. Ford et Bostock (2), d'origine volcanique. Son point le plus élevé est à 225 mètres au-dessus de la mer. Elle a la forme d'un bol de 10 à 12 milles de tour et au milieu duquel la mer pénètre par un étroit passage où un bateau seul peut s'engager. La surface de l'île est couverte de pumite, et la nuit on aperçoit les flammes sortant des crevasses du sol. Excepté l'île d'Amsterdam, qui se trouve à 40 milles au N., St-Paul est très éloignée de toute terre. L'eau, puisée dans un trou non loin de la mer, était à 212° F. et différait sensiblement de celle de l'Océan Atlantique du Sud par la proportion des substances qu'elle renfermait (3).

Ile Bourbon. M. E. Chevalier (4) a donné un aperçu de la géologie de l'île Bourbon, en partie d'après la description de Bory de St-Vincent (5), qui, comme on sait, a réuni sur ce sujet de nombreuses observations. Les principaux sommets de l'île atteignent 3,000 mètres de hauteur absolue. La masse entière de Bourbon est volcanique et renferme particulièrement les roches suivantes : basalte, basanite, phonolithe, péridotite, pépérite, gallinace, wacke, trachyte avec des zéolites, puis un lignite terreux enveloppé dans un tufa.

Nous n'avons point à parler ici de l'île de France (île Maurice), aussi d'origine ignée, mais dont les volcans ne paraissent pas avoir été en activité dans la période actuelle.

---

(1) *Voyage autour du monde de la frégate* la Vénus. *Physique*, vol. V, p. 191. 1844.

(2) *Transact. geol. Soc. of London*, vol. V, p. 261.

(3) M. Poepping (*Reise nach Chili*, etc., vol. I, p. 165) a signalé l'apparition d'un îlot volcanique, avec un cratère-lac, à l'île de Brimstone, dans la mer du Sud.

(4) *Voyage de la corvette* la Bonite. *Géologie et minéralogie*, p. 363.

(5) *Voyage aux quatre îles d'Afrique*, vol. III, 1804.

Digitized by Google

M. Ern. Dieffenbach (1) nous représente l'intérieur de l'île Nord de la Nouvelle-Zélande comme couvert de produits volcaniques sortis du groupe des montagnes centrales. Celles-ci sont composées de volcans éteints et d'autres encore brûlants. Les cratères les plus élevés sont les monts Tongariro et Taranaki ou Mont-Egmont. Le premier a 1,827 mètres d'altitude ; il est situé à 12 milles du lac, et est sacré pour les habitants. M. Bidvell (2), qui en avait fait auparavant l'ascension, courut les plus grands dangers par suite de la marche rapide d'un torrent de lave qui s'en échappait. Le Mont-Egmont est éteint de mémoire d'homme. M. Dieffenbach est le premier qui en ait atteint le sommet, et il lui assigne 2,692 mètres de hauteur, ou 487 mètres au-dessus de la limite inférieure des neiges. Ce sommet est une plaine d'un mille d'étendue et qui paraît représenter l'ancien cratère que les neiges ont comblé. Il y a en outre dans l'île plusieurs cratères-lacs et des sources thermales déposant de la silice que nous avons mentionnées. Nouvelle Zélande.

Le 12 janvier 1841, le grand navigateur J. Ross (3) aborda dans une île entièrement composée de roches volcaniques et située par 71° 56′ lat. S. et 171° 7′ long. E. A peu de distance il rencontra une seconde île également volcanique, et le lendemain l'expédition qu'il commandait aperçut une immense montagne située par 77° 32′ lat. S. et 167° long. E. C'était un volcan brûlant qui rejetait, d'un cratère élevé de 3,806 mètres au-dessus de la mer, des torrents de flammes et de fumée au milieu des neiges éternelles et des glaciers polaires reflétant au loin ces sinistres clartés sur leurs nappes éblouissantes. Ce volcan reçut le nom de *Mont-Erebus*, et un autre volcan éteint depuis peu, atteignant 3,314 mètres d'altitude et situé non loin du précédent, fut appelé le *Mont-Terror*. Terres antarctiques.

(1) *Travels in new Zealand*, etc. Voyage dans la Nouvelle-Zélande, avec des détails sur la géographie, la géologie, la botanique et l'histoire naturelle, 2 vol. Londres, 1843. — *The Athenæum*, 11 fév. 1843 et n° 923. — *Rep. 15th Meet. brit. Assoc. at Cambridge*. 1845.

(2) *The Athenæum*, n° 731.

(3) *Ann. des sc. géologiques*, vol. I, p. 820. 1842. — *Bull. Soc. géogr. de Paris*, vol. XVI, p. 162. 1841. — *Tasmanian Journ. nat. sc.*, vol. I, p. 24. 1842. — *Voyage of discovery*, etc. Voyage de découvertes et de recherches dans les mers du Sud et Antarctiques pendant les années 1839-1843, par le capit. sir James C. Ross, 2 vol. in-8, avec cartes. Londres, 1844.

Digitized by Google

§ 10. Généralités sur les volcans.

Des laves.

M. Ch. Darwin (1) s'est occupé de la séparation des divers éléments des laves, suivant leur pesanteur spécifique. Ainsi, il a observé que dans les basaltes scoriacés des îles Gallapagos les cristaux d'albite vitreux étaient beaucoup plus nombreux à la partie inférieure de la masse que vers le haut. M. de Buch avait fait la même remarque dans un courant d'obsidienne du pic de Ténériffe (2), et M. de Drée avait aussi constaté qu'en faisant fondre de la lave les cristaux de feldspath tendaient à se précipiter au fond du vase. En outre, dans une masse de fer fondu, les substances qui ont une plus grande affinité pour l'oxygène que le fer s'élèvent à la surface (3), et une cause analogue peut produire la séparation des cristaux dans les courants de lave, de même que le refroidissement de la surface peut influencer l'arrangement des molécules (4); enfin, un certain mouvement entretenu dans une masse fluide qui se refroidit facilite la séparation de ses éléments. Ainsi, du plomb argentifère, agité pendant le refroidissement, donne une masse de plomb presque pure, à cassure grenue ou cristalline, tombant au fond du vase, et laisse un résidu de métal mélangé beaucoup plus riche en argent. Si, au contraire, le refroidissement a lieu tranquillement, les deux métaux seront également mélangés (5).

Appliquant ces données à la présence de nombreux cristaux de feldspath accumulés à la partie inférieure de certains courants de lave, M. Darwin pense que ces cristaux étaient enveloppés et déjà tout formés dans la lave chaude, bulleuse, encore fluide et remplie de gaz, et que leur pesanteur relative a dû les faire descendre.

La pesanteur spécifique des trachytes étant moindre que celle des basaltes, l'auteur en conclut aussi que les premiers ont dû sortir avant les seconds, car ils devaient être accumulés à la partie supérieure des foyers ou réservoirs volcaniques. La présence du quartz dans les trachytes et son absence dans les basaltes seraient encore la conséquence d'une faible pesanteur spécifique relative.

---

(1) *Geological observations*, etc. Observations géologiques sur les îles volcaniques, etc., in-8, p. 117. 1844.

(2) *Descript. phys. des îles Canaries*, p. 190.

(3) *Edinb. new. phil. Journ.*, vol. XXIV, p. 66.

(4) Dufrénoy, *Mém. sur les terrains volcaniques des environs de Naples*, p. 271.

(5) *Rep. Meet. brit. Assoc.* 1838.

Digitized by Google

M. Hausmann, dans ses observations sur l'analogie des produits métallurgiques des usines avec les roches volcaniques, a fait sentir l'importance du rôle que joue l'oxyde de fer dans les laves modernes, et il a expliqué la texture plus ou moins compacte des roches basaltiques, trachytiques, etc., de même que la fréquence des silicates et du silicium oxydé dans les roches primaires (1).

Mouvement des laves.

Quant à la vitesse du mouvement des laves et à leur mode d'écoulement, dont nous avons déjà parlé en traitant du Vésuve et de l'Etna, nous nous bornerons à mentionner ici un mémoire de M. J. D. Forbes, à la suite duquel l'auteur a réuni un assez grand nombre de documents sur ce sujet (2).

Forme et disposition des cratères.

M. Melloni (3) attribue ce que nous appelons *égueulement* ou destruction d'une partie du circuit continu de la muraille supérieure des cratères à la différence de rotation entre l'ouverture et le foyer du volcan, la pression exercée par la plus forte tendance au renversement se trouvant au point du cratère, situé sur le rayon qui se dirige à l'O. Cependant, le maximum d'effet pouvant dépendre en outre de la résistance des parois, et par conséquent n'être pas produit précisément là où la pression est la plus forte, la brèche déviera alors un peu au N. ou au S.

A l'appui de cette manière de voir, l'auteur cite le groupe de Santorin, dans lequel les parties qui manquent pour rendre le cirque complet sont celles de l'ouest. L'île voisine de Milo, échancrée aussi sur l'une des rives, a son ouverture intérieure tournée à l'O. Quant aux volcans qui ont des enceintes extérieures, tels que le Vésuve, le pic de Ténériffe et l'Etna, on voit que la ligne conduite par le centre et le milieu de la brèche est dirigée au S.-O. dans le premier, au N.-O. dans le second, et à l'E. dans le troisième. Les volcans des champs Phlégréens ont été soumis à la même influence que le Vésuve; mais les anomalies de Ténériffe et de l'Etna sont dues à une cause aussi favorable aux conséquences déduites de la différence de la vitesse de rotation entre les corps placés à la surface et

---

(1) *De usu experientiarum metallurgicarum ad disquisitiones geologicas adjuvandas.* 1837.

(2) *Philos. Transact. roy. Soc. of London* pour 1846, partie II, p. 154.

(3) *Considérations sur certains phénomènes de direction qui s'observent dans les volcans à double enceinte.* 7e congrès des savants italiens réunis à Naples en 1845. — *Bibl. univ. de Genève*, vol. LIX, p. 343. 1845.

Digitized by Google

à l'intérieur du globe, que peut l'être la destruction de la paroi occidentale du cirque. Ce n'est plus alors l'écroulement occidental qui est l'effet produit, mais cet autre résultat, qu'à l'Etna, comme à Ténériffe, la position des bouches intérieures se trouve portée à l'O. par rapport à l'ancien massif volcanique, et cette excentricité serait la conséquence du même principe, le cratère de Chaborra à Ténériffe étant l'ouverture principale et non le Pic qui est une cheminée secondaire.

M. Melloni fait voir ensuite que la force d'éboulement produite par la colonne liquide contre les parois aura son maximum d'intensité sous l'équateur, diminuera graduellement à mesure que l'on s'avancera vers les pôles, et atteindra son minimum sur ces deux points extrêmes, la plus grande vitesse de rotation diurne étant à l'équateur, et le mouvement de transport résultant de cette rotation étant nul sur toute l'étendue de l'axe terrestre. Ainsi les effets dont nous venons de parler ne doivent pas se produire dans les volcans polaires.

Les exemples cités appartenant tous à la zone tempérée boréale, on ne peut pas encore dire cependant que les faits confirment réellement la théorie; mais, si les observations ultérieures venaient l'appuyer, on aurait une preuve que tous les foyers volcaniques sont à la même distance au-dessous de la surface du sol.

Enfin de ce que les cirques volcaniques de la lune ont leurs bords intacts, et que leur cratère d'éruption occupe une position centrale, le savant physicien de Naples en conclut que cette symétrie pourrait tenir à l'extrême lenteur avec laquelle notre satellite tourne sur son axe.

Position et distribution des volcans.

M. de Buch avait fait voir que les porphyres pyroxéniques s'étendaient graduellement le long et à la base des grandes chaînes de montagnes. M. de Humboldt avait aussi remarqué la fréquence des roches de trapp dans cette position, et, de plus, la présence des granites dans l'axe des grandes chaînes est toujours au moins probable. Ainsi, dit M. Darwin (1), les masses de porphyre pyroxénique et de trapp, injectées latéralement, montrent presque le même rapport vis-à-vis des axes granitiques, que les laves basaltiques, relativement aux masses trachytiques centrales sur le pourtour desquelles elles ont si souvent fait éruption.

A peu d'exceptions près, les innombrables îles éparses à travers

(1) *Geological observations*, etc. Observations géologiques sur les îles volcaniques, etc.

Digitized by Google

l'Océan Pacifique, l'Océan Indien et l'Atlantique, sont composées soit de roches volcaniques, soit de récifs de coraux, et cette disposition n'est que l'extension de cette loi et l'effet des mêmes causes soit chimiques, soit mécaniques, qui font que la grande majorité des volcans actuellement brûlants sont ou des îles, ou dans le voisinage de la mer, tandis que les chaînes intérieures continentales en renferment très peu.

Dans les archipels volcaniques, les îles sont généralement arrangées suivant des lignes simples, doubles ou triples, et souvent légèrement courbes. Elles se trouvent fréquemment aussi sur des séries de lignes qui se coupent à angle droit, mais la distinction des volcans centraux et des volcans en ligne, proposée par M. de Buch, ne paraît pas exacte à M. Darwin. Il y a, suivant ce dernier, des chaînes plus ou moins longues; mais il n'y a pas, à proprement parler, de volcans centraux, beaucoup d'îles volcaniques, éparses en petits groupes, étant en rapport, par leur proximité et leur direction, avec les fissures d'éruption des continents voisins, relation que M. de Buch considère comme caractéristique des volcans en chaîne. M. Ch. Deville (1) a émis une manière de voir analogue à celle de M. Darwin, lorsqu'il a défini *un volcan central*, *un point singulier qui*, *sur une faille volcanique donnée*, *établit une communication permanente entre l'intérieur du globe et l'atmosphère.*

L'énorme accumulation de lave et le grand nombre de cratères que l'on observe dans les îles volcaniques, comparés à l'existence d'un ou deux foyers seulement encore en activité dans chaque archipel, doivent faire attribuer à une bien haute antiquité tous ces groupes d'îles d'une origine cependant comparativement si récente; mais on ne peut pas supposer que, dans le plus grand nombre des cas, toute la masse de chacune d'elles ait été élevée, par des déjections successives, au niveau où nous la voyons aujourd'hui; les dykes qui la traversent en tous sens démontrent qu'elle a été soulevée et fendillée.

Dans son ouvrage sur les îles de coraux (*antè*, p. 378), M. Darwin avait déjà fait voir qu'il existait une certaine connexion entre les éruptions volcaniques et les soulèvements contemporains en masse; et, dans le même archipel, les éruptions ont eu lieu pendant la période actuelle sur plusieurs lignes de fissures parallèles

(1) *Observations sur le tremblement de terre de la Guadeloupe*, in-4, p. 39. 1843.

Digitized by Google

(Gallapagos, Canaries, Açores). L'axe d'une chaîne de montagnes ne différant d'un volcan que parce que les roches ignées y ont été *injectées*, au lieu que les matières volcaniques sont *éjectées*, on conçoit que, dans la même période géologique, deux ou plusieurs lignes parallèles ont pu être soulevées et injectées.

M. de Humboldt (1) pense que si les volcans sont généralement dans le voisinage de la mer, c'est moins à cause de l'action chimique de l'eau salée, que par suite de la configuration de la croûte du globe et du peu de résistance opposée aux fluides élastiques et à la sortie des matières en fusion par les masses de continents soulevées près des bassins maritimes. Les volcans brûlants sont presque toujours dans le voisinage du littoral, parce que partout où l'éruption n'a pu avoir lieu sur la déclivité des masses continentales vers un bassin maritime, il a fallu un concours de circonstances très extraordinaires pour permettre une communication permanente entre l'intérieur du globe et l'atmosphère ; mais on conçoit que ce concours peut se rencontrer partout où, à la suite d'anciennes révolutions de la croûte terrestre, une fissure s'est ouverte loin de la mer.

A ce sujet, M. de Humboldt a rappelé la position qu'occupaient certains volcans par rapport aux grandes masses d'eau (2). Ainsi le Jorullo se trouve à 27 lieues de la mer (3), le Popocatepetl à 44. Dans l'Amérique méridionale, le Sangai, le Tolima et le volcan de Fragua sont à 31, 35 et 52 lieues du littoral de la mer du Sud. Le Tolima, élevé de 5,613 mètres, presque la hauteur du Caucase, a eu une grande éruption le 12 mars 1595. Il appartient aux volcans en série de la chaîne centrale à l'est du Rio-Cauca. Ainsi l'opinion suivant laquelle la cordillère des Andes n'offre pas de volcan brûlant dans les parties qui s'éloignent du littoral n'est nullement fondée, et la plus grande distance de ces volcans à la mer serait aujourd'hui de 52 lieues.

Mais le savant auteur fait voir que ce maximum est à peine un dixième de la distance à laquelle on trouve, dans l'Asie centrale, éloignés des côtes de l'Océan, les volcans actifs de la grande chaîne du Thian-Chan, qui, d'après les renseignements les plus sûrs, au moins depuis le premier siècle de notre ère, ont vomi des flammes,

(1) *Asie centrale*, vol. II.
(2) *Ibid.*, p. 69.
(3) L'auteur emploie ici la lieue de 20 au degré, qui est de 5555^{m},55.

des courants de lave, des ponces et des matières salines (1). Le Péchan est à 510 lieues de la mer Glaciale, à 504 des bouches de l'Indus et du Gange, à 452 de la mer Caspienne, et à 340 de la mer d'Aral. Il est aussi éloigné de 70 et 58 lieues des lacs Balkhache et d'Issikoul. Le volcan de Tourfan se trouve également à 188 et 176 lieues de ces derniers lacs. On doit remarquer en outre qu'il n'y a de volcans actifs précisément que dans la chaîne la plus centrale des quatre qui traversent l'Asie de l'E. à l'O., et que l'Himalaya, qui se rapproche à 120 lieues de l'Océan Indien, n'en offre point de traces.

Quant à l'opinion qu'il n'y avait pas de véritables volcans en activité dans l'Asie centrale, parce qu'il y existe de la houille, et que son embrasement pouvait donner lieu à des incendies momentanés, ce n'est en réalité qu'une supposition émise pour soutenir une hypothèse, supposition qui doit céder devant des faits dont l'authenticité ne peut pas être légèrement révoquée en doute.

M. de Buch (2) a fait remarquer que toutes les îles de la mer du Sud, depuis le méridien de la Nouvelle-Zélande, « au lieu de » présenter la forme ronde et élevée des montagnes coniques, » combinées avec d'autres îles moins élevées, et formant avec elles » divers groupes isolés les uns des autres, les îles un peu plus loin » à l'O. paraissent étroites et allongées comme des chaînes de mon- » tagnes, et elles se trouvent toutes si exactement dirigées suivant » une même ligne, quoique un peu recourbée, qu'on ne peut se » dispenser de les réunir et de les considérer comme les diverses » parties d'un tout unique. Ainsi il est évident que la Nouvelle- » Zélande, la Nouvelle-Calédonie, les Nouvelles-Hébrides, les îles » Salomon et de la Louisiade, jusqu'à la Nouvelle-Guinée, et cette » île immense elle-même, jusqu'aux îles Moluques, appartiennent » à la même chaîne; et ces relations de toutes ces îles deviennent » surtout plus frappantes quand on remarque que la courbe formée » par cette chaîne reproduit presque exactement, sur un très long » espace, la configuration de la côte de la Nouvelle-Galles du Sud. »

A cette différence de forme avec les autres îles de la mer du Sud viennent s'ajouter les caractères des roches et des formations, qui ne s'en distinguent pas moins. Ainsi ce sont des roches primaires,

---

(1) *Lettre de M. de Rémusat à M. Cordier* (*Ann. des mines*, vol. V, p. 137).

(2) *Descript. phys. des îles Canaries*, trad. française, p. 403.

Digitized by Google

des micaschistes, des serpentines et des calcaires. Les volcans, loin d'être les points principaux de certains groupes, ne sont plus que subordonnés, quant à leur relief et à leur position, aux chaînes de montagnes anciennes.

Cependant la série de ces volcans qui se suivent depuis la Nouvelle-Zélande, les îles Salomon et la Nouvelle-Bretagne, se rattache à l'ouest de la Nouvelle-Guinée avec deux autres chaînes, celle des volcans des îles de la Sonde à l'O., et celle des volcans des îles Philippines et des Moluques au N. (p. 409.) « Ces deux séries de » volcans suivent la limite extérieure du continent de l'Asie, avec » beaucoup plus d'exactitude encore que la chaîne précédente ne » suivait les côtes de la Nouvelle-Hollande.

» Les innombrables volcans des îles de la Sonde s'étendent jus- » qu'aux îles les plus éloignées de Sumatra et de Java, et se per- » dent dans le golfe du Bengale, dans les parties où le continent » voisin devient plus considérable et moins déchiqueté. De la même » manière, la chaîne des Moluques et des Philippines s'élève vers » le Japon, et entoure le continent de l'Asie du côté de l'est.

» Au contraire, au milieu de ces îles nombreuses qui peuplent la » mer de la Chine, on ne trouve que très rarement des traces de » phénomènes volcaniques, et les volcans eux-mêmes y sont pres- » que complétement inconnus.

» L'immense masse oxydée qui forme le continent de l'Asie em- » pêche toute communication de l'intérieur avec l'atmosphère; mais » cette communication a pu s'ouvrir sur les bords du continent, » en formant une faille considérable qui l'entoure, et sur laquelle » se sont établis des volcans qui servent de canaux pour cette com- » munication. »

On doit aussi à M. Élie de Beaumont (1) cette autre observation, que l'énorme bourrelet montagneux qui court entre l'océan Pacifique d'une part et les continents des deux Amériques et de l'Asie de l'autre, en suivant, depuis le Chili jusqu'à l'empire des Birmans, la direction d'un demi-grand cercle de la terre et en servant d'axe central à cette ligne volcanique en zigzag qui suit çà et là des fractures plus anciennes, ne s'écarte pas non plus de la zone littorale dont nous venons de parler.

Enfin, si l'on considère la distribution générale des volcans à la

(1) *Manuel géologique* de M. de La Bèche, traduct. française, p. 661.

Digitized by Google

surface de la terre, on voit, comme le montre la planche 29 de l'Atlas de M. de Hauslab, qu'ils forment deux grandes courbes dont l'une, suivant les bords de l'océan Pacifique, court dans le sens des méridiens, tandis que l'autre se dirige dans le sens des parallèles; d'où résultent deux cercles qui se coupent à angle droit. Il y a en outre, dans chaque espace intermédiaire, des volcans centraux, tels que les îles Sandwich, l'Islande avec les îles Féroë et l'île Jean-Mayen, l'Ascension, les volcans de la mer Rouge, etc. (1).

§ 11. Origine des volcans.

Sir J. Herschel (2), tout en admettant une haute température centrale, pense, comme M. Ch. Lyell, que le repos ordinaire de la surface de la terre accuse une frappante inertie à l'intérieur. N'ayant plus à s'occuper alors de l'invasion d'un courant circulant, ou d'injections accidentelles de matières fondues et liquides, l'illustre astronome conçoit que le phénomène des volcans peut s'expliquer comme il suit :

L'équilibre de température et de pression étant supposé dans le globe, les couches isothermes près du centre seront sphériques, mais vers la surface elles se conformeront peu à peu à la configuration de la partie solide, soit du fond des mers, soit du sol émergé des continents. Si l'on admet alors que, sous le fond concave de quelque grand Océan, les lignes d'égale température soient parallèles à sa concavité, lorsque celle-ci viendra à être remplie par le dépôt des sédiments qu'apportent les rivières, le fond, d'abord concave, deviendra horizontal ou même convexe, et l'équilibre de température sera immédiatement troublé parce que la forme d'une couche de température dépend de la surface limite du solide au-dessus, cette forme étant une des fonctions arbitraires qui entrent dans son équation différentielle particulière. La température par conséquent commencera à changer de bas en haut, et les couches isothermes changeront graduellement leur forme de concaves qu'elles étaient pour devenir horizontales et même convexes.

(1) Voyez aussi : *Bull*, 2e sér., vol. IV, p. 152. 1846. — J. L. Hayes, *Sur la distribution géographique et les phénomènes des volcans* (*Soc. des géol. et natur. américains*, 1844).

(2) *Proceed. geol. Soc. of London*, vol. II, p. 548 et 596. 1837. — *Bull.*, vol. IX, p. 97.

Digitized by Google

Après un grand laps de temps, et lorsqu'un nouvel état d'équilibre sera atteint, l'ancien fond de l'Océan pourra acquérir alors une température correspondante à sa profondeur actuelle, tandis qu'un point placé au-dessous de lui, à une distance égale à celle où il se trouve de la surface, atteindra une beaucoup plus haute température, et les roches pourront y être fondues sans qu'il y ait aucun transport de matière liquide effectué de bas en haut. La température de cette couche inférieure profonde se trouvant ainsi amenée au point de fusion, celle-ci devenue liquide tendra à s'élever vers l'ancien fond de l'Océan et à faire éruption au dehors, favorisée par la présence de l'eau avec laquelle elle se trouvera en contact suivant les circonstances du phénomène.

Si le dépôt continue jusqu'à ce que, par l'accumulation de la pression sur le fond ou sur les pentes, quelque support vienne à manquer, une portion de la croûte solide s'enfoncera et plongera dans le liquide placé dessous; il se produira une ou plusieurs fentes, et le liquide s'y élèvera par l'effet de la pression hydrostatique. Mais comme en s'élevant la pression diminue, et que l'eau chauffée, passant à l'état de vapeur, affaiblit la pesanteur spécifique de la colonne, celle-ci se change en un jet mélangé de vapeur et de lave. Lorsqu'il s'est échappé assez de matière pour former une nouvelle couche, l'évacuation cesse et la fente se referme.

Cette manière d'envisager la progression de la chaleur au-dessous du sol rend compte, dit M. Herschel, des effets de la température sur les couches récemment formées, et cela par le seul fait que de nouveaux strates ayant été déposés, les conditions de l'équilibre de température sont changées. Ils retiennent une partie de la chaleur qui les traverse pour s'échapper au-dehors, le flux qui provient du centre étant supposé inépuisable, et sa température étant par conséquent constante. Comme le plus grand transport de matériaux au fond de l'Océan est produit sur la ligne de côtes par l'action de la mer, tandis que la quantité entraînée au-delà est comparativement faible, il s'ensuit que le plus grand relief local a lieu le long des lignes de côtes, et là, par conséquent, devront se trouver les principaux évents volcaniques.

Nous ne poursuivrons pas plus loin l'examen de l'hypothèse de M. Herschel; ce que nous venons d'en dire suffira pour faire apprécier le point de vue auquel il s'est placé, et pour faire juger que, malgré tout ce qu'elle a de spécieux, elle ne répond cependant pas aux données du problème, et que, de plus, elle se trouve dans beau-

Digitized by Google

coup de cas en contradiction avec l'observation directe des faits.

M. L. Pilla, à la suite de la comparaison qu'il avait établie entre les trois volcans brûlants d'Italie (1), a cru trouver la cause des volcans en général dans l'action de l'eau sur les substances minérales de l'intérieur, laquelle détermine la décomposition de ce même fluide et l'élévation de la température. L'oxydation des métaux des alcalis devra produire, dit-il, des effets semblables à ceux que nous offrent les volcans. Il y aura ainsi : 1° décomposition d'une portion de l'eau, d'où résulteront l'oxydation et la fusion du silicium et des métaux alcalins et terreux ; 2° combinaison d'une partie du gaz hydrogène avec le chlore des chlorures, et formation d'acide muriatique ; 3° dégagement de l'autre partie du gaz hydrogène ; 4° une portion d'eau, non décomposée, changée en vapeur et une partie du chlorure de sodium qu'elle contient entraînée et sublimée ; 5° enfin, dilatation et soulèvement. En renouvelant ainsi une partie de l'hypothèse chimique de Davy, M. Pilla pense que les volcans ont un foyer commun et qu'ils ne sont en quelque sorte que les soupiraux ou les cheminées d'une grande fournaise intérieure. Cette dernière manière de voir, peu d'accord avec l'hypothèse chimique elle-même, est, comme nous le verrons, contredite par un grand nombre de faits.

Le même géologue est revenu sur ce sujet dans un discours prononcé au congrès de Lucques en 1843, discours dans lequel il s'est attaché de nouveau à expliquer les phénomènes chimiques qui doivent se manifester à l'intérieur, lors du contact de l'eau de la mer avec les matières incandescentes. Il y aurait alors production d'acide hydrochlorique libre qui s'enflamme au contact de l'air. M. Pilla rapporte à ce sujet que, lors de l'éruption de l'Etna, au mois de décembre 1843, la pluie qui tomba à Catane était chargée d'acide hydrochlorique versé par le volcan dans l'atmosphère.

M. G. Bischof, dont nous avons eu plusieurs fois occasion de citer les travaux remarquables de physique et de chimie appliqués à l'histoire du globe et à son état actuel, s'est également occupé des questions qui se rattachent aux volcans et aux tremblements de terre (2). Après avoir examiné les diverses explications ou théories

(1) *Atti dell' Accad. gioen. di Catania*, vol. XII, p. 89. 1837.

(2) *On the natural history of Volcanos and Earthquakes.* Sur l'histoire naturelle des volcans et des tremblements de terre (*Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXVI, n° 51, janv. 1839. — *Amer. Journ.*, vol. XXXVI, p. 230. 1839).

Digitized by Google

proposées sur la cause des phénomènes volcaniques, il fait voir que ni l'oxydation des métaux*, ni les combinaisons et décompositions produites par les chlorures n'offrent de solution satisfaisante du problème ; puis il passe à l'hypothèse qui suppose la température de la terre s'accroissant de la circonférence au centre, et atteignant la chaleur rouge et ensuite la chaleur blanche, hypothèse qui paraît rendre mieux compte des actions volcaniques et des tremblements de terre.

Des expériences qu'il a faites sur le degré de fusibilité de la lave M. Bischof conclut que son point de fusion se trouve entre celui du cuivre et celui de l'argent, ou 2282° F. (1267° 7/9 C.). D'après la loi connue de l'augmentation de la température avec la profondeur, et en la prolongeant au-delà, il trouve aussi que le point de fusion de la lave serait à environ 113,505 pieds au-dessous de Genève, comme sous les Cornouailles, et au-dessous de l'Erzgebirge à environ 126,829 pieds plus bas que le niveau de la mer, près du Vésuve ou de l'Etna (1).

La force élastique de la vapeur, dit le savant chimiste, ne peut dépasser un certain maximum qu'elle atteint lorsque sa densité est égale à celle de l'eau, ce qui a lieu lorsqu'elle fait équilibre à 232,952 pouces (Paris) de mercure, ou à près de 8300 atmosphères. La température supposée est alors de 2786° F. et dépasse de 504° F. celle qui est nécessaire pour la fusion de la lave. La plus haute colonne de lave que le maximum d'élasticité de la vapeur puisse soulever, en supposant la pesanteur spécifique de la lave égale à trois fois celle de l'eau, serait de 88,747 pieds; or on a vu que la température nécessaire à la fusion de la lave ou 2282° F. se trouvait dans un point à 113,505, et dans l'autre à 126,829 pieds au-dessous du niveau de la mer, près du Vésuve et de l'Etna. La colonne de lave ne pourrait donc déborder par la bouche de ces volcans si elle n'était soulevée que par la force élastique de la vapeur, supposée à son maximum de tension et en présence de l'eau.

Mais, de même qu'une bulle d'air laissée dans un baromètre élève le mercure dans le vide supérieur beaucoup au-dessus de la hauteur barométrique, de même la vapeur d'eau peut élever, dans les

(1) M. S. Giuli, dans ses *Recherches sur la profondeur des volcans* (*Atti dell' Accad. gioen. di Catania*, vol. XI, p. 39. 1836), a été conduit à admettre par divers calculs que la croûte terrestre devait avoir une épaisseur totale de 76,804 pieds.

Digitized by Google

cheminées qui aboutissent au cratère, une colonne de lave d'une hauteur égale à sa force d'expansion. Quoique loin de son maximum d'élasticité, la vapeur d'eau élèvera alors une colonne de lave égale en hauteur à cette même élasticité, et cela depuis des profondeurs encore plus grandes jusqu'à la surface de la terre. On peut concevoir ainsi une alternance continue de colonnes de laves et de vapeurs dans les cheminées, et il en résultera une alternance de déjections de laves, de masses chauffées au rouge, et de nuages de vapeurs, comme on le voit à Stromboli.

L'auteur revient plus loin sur la communication de l'eau de la mer avec le siége de l'action volcanique, question déjà bien ancienne (1) et controversée par M. Gay-Lussac (2). En supposant, dit M. Bischof, que les eaux de la mer atteignent, par des fissures du sol, la source des phénomènes ignés, à la profondeur de 113,505, ou de 126,829 pieds, la force élastique à cette profondeur, où la température est de 2282° F. (1267° 7/9 C.), sera de 5310 atmosphères. Mais la pression hydrostatique de ces colonnes d'eau est de 3547 à 3963 atmosphères, par conséquent moindre que la tension de la vapeur à cette profondeur; ainsi ces colonnes ne pourraient y résister. D'un autre côté, la pression de la vapeur décroissant plus rapidement avec l'abaissement de température que la pression hydrostatique, on peut concevoir qu'à une certaine profondeur il existe une température correspondante dans laquelle il y aura équilibre entre les deux forces.

Le savant auteur a calculé qu'en admettant un accroissement constant de température de 1° F. par 51 pieds, ce point d'équilibre pourrait être à la profondeur de 88,044 pieds au-dessous de la

(1) En effet, on trouve cette idée de l'intervention de l'eau, d'abord mentionnée par Justin, d'après Trogue-Pompée (a), puis vers le milieu du XVIe siècle par Bembo, dans son *Ætna dialogus*. On voit dans ce dernier ouvrage l'indication très précise de l'introduction de l'eau de la mer dans les foyers volcaniques, et du voisinage de la mer comme condition nécessaire pour que le phénomène des éruptions ait lieu. M. de Boucheporn y a également recours dans ses *Études sur l'histoire de la terre*, p. 258.

(2) *Ann. de chim. et de phys.*, vol. XXII, p. 427.

(a) Une erreur de typographie ou de copiste paraît s'être glissée dans la note de la page 533 du *Cosmos*, où M. de Humboldt dit : « Telles sont les données que Justin met en œuvre dans sa théorie copiée *par* Trogue Pompée. » C'était *de* Trogue Pompée qu'il fallait mettre; car l'ouvrage de cet historien, qui florissait 41 ans avant J.-C., ne nous est connu que par Justin, écrivain du IIe siècle, qui en a donné un abregé; l'original a été perdu. Le sens exact de la phrase se trouve d'ailleurs à la page 277 du *Cosmos*.

surface des mers, là où la température est de 1754° F., et il arrive à démontrer que des colonnes de lave de 29,348 et 35,209 pieds peuvent être élevées par la vapeur de profondeurs respectives de 88,044 et de 105,627 pieds au-dessous de la mer, pourvu que la communication ne soit pas interrompue entre celle-ci et le foyer volcanique. Il fait voir en outre que l'objection de M. Gay-Lussac, que l'eau sous sa propre pression prendrait la forme gazeuse avant d'atteindre les couches qui sont à la chaleur blanche, n'est pas fondée, et ensuite que des circonstances particulières peuvent augmenter encore l'effet de la pression sur la lave, et l'élever dans les cheminées volcaniques plus haut que le niveau de la mer.

Tant que la communication avec la mer subsiste, le volcan ne peut demeurer en repos, quoique la formation ou l'arrivée de nouvelle lave à la base de la cheminée volcanique puisse exiger un temps assez long avant que de nouvelles éruptions aient lieu. Au Vésuve, les éruptions sont de courte durée lorsqu'elles ne sont point accompagnées de vapeurs aqueuses. A Lancerote, des cônes dont les éruptions remontent à 80 ans émettent encore des vapeurs aqueuses. Au Jorullo, des effets du même genre se sont aussi produits longtemps après son éruption.

Les communications avec la mer peuvent être interrompues, soit par la lave elle-même (et cela d'autant mieux que ces canaux sont plus étroits), soit par la fusion des parois et leur soudure, ou enfin par la haute température de la vapeur dans la région au-dessus du foyer volcanique. Ces circonstances, et d'autres qu'indique M. Bischof, suspendront les éruptions ou les feront cesser ; mais les communications pourront être rétablies par un choc ou une secousse effectués sur les parois des conduits, ou par l'expansion de ces mêmes parois réchauffées de tous les côtés. Plus la température de la lave aura été abaissée par l'eau ou par la formation de la vapeur, plus il faudra de temps pour la refondre; et en outre, la lave étant mauvais conducteur du calorique, cet effet pourra exiger un laps de temps assez long.

Le repos et l'activité d'un volcan sont donc les alternatives de solidification et de liquéfaction de la lave, et les interruptions et les retours de l'eau au foyer volcanique. Si la quantité de lave, dans ce foyer, se trouve épuisée par les éruptions successives, le volcan est réduit au repos; mais si la quantité d'eau n'est pas interrompue, il continuera à exhaler des vapeurs, comme on le remarque dans beaucoup de volcans actuels (p. 248). L'observation a démontré

Digitized by Google

que les grandes éruptions n'ont lieu qu'à de longs intervalles, et que l'activité des volcans est en raison inverse de leur élévation et de la grandeur de leur masse. Le plus petit de tous, Stromboli, est presque toujours en activité. Les éruptions du Vésuve sont moins fréquentes que celles de Stromboli, mais elles le sont davantage que celles de l'Etna et du pic de Ténériffe. Ainsi, pendant le repos de ce dernier, de 1706 à 1798, soixante éruptions eurent lieu au Vésuve. Sur les sommets élevés des Andes, au Cotopaxi, au Tunguragua, les éruptions se manifestent à peine une fois dans un siècle. Les grands courants de lave, tels que ceux qui sortent de l'Etna et du Vésuve, ne coulent jamais du cratère lui-même, et la quantité de matière fondue qui s'échappe est ordinairement inverse de la hauteur des fissures par lesquelles elle sort; mais les éruptions latérales de ces deux volcans se terminent toujours par des cendres qui s'échappent du cratère principal.

M. Bischof explique ensuite la manière dont il conçoit que l'eau arrive, par des crevasses du sol, à la surface de la matière incandescente et fondue de l'intérieur, ainsi que les effets qui se produisent sur cette surface lors du passage de l'eau à l'état de vapeur, et enfin les circonstances qui peuvent faire cesser complétement les phénomènes par l'obstruction des conduits. Comme l'écorce terrestre tend constamment à s'épaissir, par l'addition de nouvelles couches contre sa paroi interne, sa rupture devient d'autant plus difficile que ces soudures successives sont plus anciennes, et il est peu probable que les volcans éteints viennent jamais à se rouvrir.

On pourrait ajouter encore en faveur de l'hypothèse de M. Bischof, que l'augmentation de la croûte rend aussi plus rare et plus difficile la communication de la mer avec l'intérieur, et qu'en remontant dans les périodes géologiques, on trouve les phénomènes ignés, plus ou moins analogues à ceux qui ont lieu aujourd'hui, d'autant plus nombreux que l'écorce terrestre était plus mince, et qu'alors la communication du dehors au dedans était plus directe et plus facile.

Dans les volcans très élevés, comme l'Etna, les parois des conduits de la lave ne résistent pas toujours à la pression des matières fondues, et il se produit des fissures constamment dans la direction de l'axe du volcan.

Après avoir fait remarquer les différences qui existent dans les laves d'un même volcan ou de volcans voisins les uns des autres, l'auteur ajoute que si l'activité d'un volcan vient à cesser, les con-

Digitized by Google

duits par lesquels l'eau s'introduisait restant ouverts peuvent donner lieu à des sources thermales. Ainsi Burkart (1) fait voir que dans la vallée de Pote les sources d'eau bouillante sont situées sur une ligne dirigée E.-O., parallèlement à la ligne générale des volcans de Mexico. M. Bischof cite ensuite beaucoup d'exemples de la relation probable des sources thermales avec les volcans; il rappelle que la température de ces sources s'est abaissée dans beaucoup de cas, et il pense que le procédé qui produit les volcans repose sur les mêmes principes que celui des eaux thermales, surtout de celles qui sont intermittentes; seulement les vapeurs aqueuses, qui sont l'agent soulevant, élèveraient alors des matières fondues, au lieu d'eau.

On a vu (*antè*, p. 441) la manière dont M. Krug de Nidda concevait le jeu des geysers d'Islande, et les explications données par M. Bischof lui-même, qui les regarde comme des manifestations plus ou moins analogues aux volcans. Les effets de ces derniers, ajoute-t-il, peuvent d'ailleurs être attribués aussi bien aux eaux de la surface des continents, qu'à celles qui sont renfermées dans les couches de la terre.

L'auteur énumère les effets généraux qui résultent des actions volcaniques, ou qui les accompagnent, tels que les tremblements de terre, les apparitions d'îles, les cratères de soulèvement, etc.; puis, considérant dans leur ensemble les phénomènes des roches éjectées et soulevées, il arrive à ce principe, que, si l'eau agit sur des masses fondues et dans un espace peu étendu, on a les conditions nécessaires pour produire une élévation rapide de ces masses, et par conséquent on peut admettre, comme règle générale, que ces élévations de masses fondues, et les soulèvements brusques de masses solides, sont des phénomènes concomitants. Si, au contraire, on suppose, à une certaine profondeur, une roche solide dont la température soit moindre que la chaleur rouge, elle ne sera soulevée que lorsqu'une source considérable de chaleur existant au-dessous d'elle donnera lieu à la formation de vapeurs. Mais plus la température de la vapeur dépassera celle de la roche qui doit être soulevée et supportée par elle, plus celle-ci sera condensée, et, par cette raison, une grande partie de l'effet sera perdu. Si la vapeur condensée retourne à sa source de chaleur, elle reviendra sous forme de vapeur; enfin si la roche est mauvais conducteur, la sur-

(1) Vol. I, p. 316.

Digitized by Google

face en contact avec la vapeur acquerra graduellement sa température, et la vapeur cessant de se condenser atteindra son maximum de tension.

On comprend d'après cela que des masses fondues puissent être élevées par la vapeur dans un espace de temps assez court, tandis que les masses solides seront soulevées très lentement par le même agent. Cet effet se continuera même encore après que l'action de la vapeur aura cessé, et ce sera alors le résultat d'une expansion produite par le calorique dégagé de la vapeur pendant sa condensation, résultat que M. Bischof applique aux mouvements du sol de la Scandinavie et sur lesquels nous reviendrons dans le chapitre V.

M. Daubeny a combattu l'hypothèse qui attribue à la chaleur interne le jeu des volcans et des sources thermales (1), et il admet que ces phénomènes résultent d'actions chimiques produites par l'introduction de l'eau et de l'air atmosphérique jusqu'à des corps capables de s'emparer de l'oxygène de l'un et de l'autre. Il s'est attaché à faire voir : 1° que la masse de matières (alcalis, terres et oxydes métalliques) qui se trouvent ordinairement dans la lave et dans des proportions semblables devrait, dans l'opinion contraire, avoir une pesanteur spécifique plus grande qu'on ne l'observe en effet; 2° que la base de silice ou celle d'alumine, combinée soit avec l'hydrogène, soit avec un alcali, entrerait en combustion à la chaleur rouge et prendrait part à l'action chimique qui se manifeste dans les volcans; 3° que de la longue continuité du phénomène on peut induire que les substances qui entretiennent la combustion sont précisément telles qu'elles formeraient, avec l'oxygène, un produit fixe, dépourvu d'eau et de principe inflammable, ce qui s'accorderait avec les conditions de la théorie qu'il défend.

M. Bischof a réuni de nouveaux arguments à l'appui de son opinion (2), opposée à celle de M. Daubeny, qui y a répondu de son côté (3) ; mais nous n'entrerons point dans cette discussion, et il nous suffit de montrer que l'une et l'autre hypothèse admet, comme cause déterminante du phénomène, mais à des titres très

(1) *Encyclopedia metropolitana*, part. 40°.
(2) *Edinb. new phil. Magaz.*, vol. XXX, p. 14. 1841.
(3) *Edinb. new phil. Journ.*, avril 1839. — *Amer. Journ.*, vol. XXXVII, p. 78. 1839.

Digitized by Google

différents, l'introduction de l'eau soit de la surface, soit de l'intérieur du sol. A l'intervention de l'eau et à celle de l'air comme agents chimiques on a surtout objecté que, dans le premier cas, il devrait y avoir un dégagement très considérable d'hydrogène qui s'enflammerait au contact des matières incandescentes, ce qui ne paraît pas avoir lieu, au moins sur une échelle en rapport avec l'énergie de la cause, et s'il se formait de l'hydrogène sulfuré, celui-ci s'enflammerait également; et que, dans le second cas, celui de l'air, il y aurait production d'une immense masse d'azote, dont ne peut rendre compte la petite quantité d'ammoniaque constatée jusqu'à présent.

M. Angelot, dans un mémoire très remarquable *Sur la cause des émanations gazeuses provenant de l'intérieur de la terre* (1), a insisté de nouveau sur l'influence de l'introduction de l'eau dans les foyers volcaniques, et il a procédé pour cela à peu près comme nous venons de voir que l'avait fait M. Bischof, dont les travaux sur ce sujet ne lui étaient sans doute pas connus non plus que les opinions de M. Daubeny.

En admettant qu'il existe des fissures dans le sol sous-marin comme dans la partie émergée des continents et des îles, M. Angelot suppose qu'une température de 1,200 à 1,500° au moins (2) est nécessaire pour fondre la plus grande partie des roches volcaniques, et que, d'après l'accroissement de température de 1° pour 32 mètres, ou en nombre rond de 3° pour 100 mètres, l'épaisseur approximative de la croûte solide est d'environ 5 myriamètres (3). Si l'on place l'orifice du trou à 2,000 mètres de profondeur au-dessous de la surface de la mer, 10 mètres d'eau représentant à peu près une atmosphère, la pression de cette masse d'eau équivaudra à 200 atmosphères. La colonne d'eau qui, de l'orifice du trou, traversera toute la croûte terrestre, aura une hauteur de 5 myriamètres; elle produira une pression de 5,000 atmosphères, et la pression totale sur la masse liquide incandescente sera de 5,200 atmosphères. Les travaux les plus récents faits en France portent

---

(1) *Bull.*, vol. XIII, p. 185. 1842.

(2) On a vu (*antè*, p. 586) que M. Bischof avait fixé ce point à 1,267° 7/9 C.

(3) C'est à très peu près ce que M. Bischof indique pour l'épaisseur de l'écorce terrestre au-dessous de l'Etna, quantité qui est double de celle qu'a trouvée M. Giuli.

Digitized by Google

à 1,200 atmosphères la tension maximum de la vapeur (1), laquelle est par conséquent bien inférieure à la pression de la colonne d'eau qui vient d'être indiquée : aussi, au contact même des roches liquéfiées, l'eau de la base de la colonne sera-t-elle maintenue à l'état liquide.

Mais en tenant compte de la température de l'intérieur, qui croît de haut en bas, on trouve qu'à 1 myriamètre environ de profondeur la température des couches doit être de 300°. A cette profondeur, la colonne d'eau exerce une pression de 1,000 atmosphères qui, jointe à celle de la masse de l'Océan au-dessus de l'orifice du canal de communication, donne une pression totale de 1,200 atmosphères, c'est-à-dire précisément égale au maximum de tension de la vapeur admise par l'auteur, d'après les calculs de M. Biot pour les plus hautes températures. Comme à 300° la force élastique de la vapeur n'est que de 85 atmosphères, on voit que l'échauffement de la colonne d'eau par les parois que forment les roches ne l'empêchera pas de rester liquide dans toute sa hauteur.

Les calculs dans lesquels on fait entrer la dilatation de l'eau et sa compressibilité n'affectent pas sensiblement ce résultat ni la probabilité qu'à la base de la colonne la pression soit de plusieurs milliers d'atmosphères. « L'effet de l'énorme pression de cette » colonne d'eau, dit M. Angelot, doit être de déprimer à sa base » le niveau des matières minérales liquides, quoiqu'elles soient » plus denses, de les fouler, d'y injecter l'eau avec une grande » force, comme le ferait une pompe foulante poussant un corps » fluide, liquide ou même gazeux, dans une masse liquide plus

(1) M. Bischof, comme nous venons de le dire, porte à 8,300 atmosphères le maximum de la force élastique de la vapeur. — Le poids de l'atmosphère étant égal à une colonne d'eau de 10m,5, une colonne de ce liquide égale à la hauteur du cratère de l'Etna au-dessus de la mer (3,300 mètres) ferait équilibre à 300 atmosphères; une autre, égale à la hauteur du pic de Ténériffe (3,710 mètres), équivaudrait à 350 atmosphères, et enfin une troisième colonne d'eau, égale à la hauteur de l'Antisana, exercerait une pression égale à 550 atmosphères. Mais la densité de la lave étant deux ou trois fois celle de l'eau, la force qui l'élève seulement du niveau de la mer au sommet de l'Etna doit être d'au moins 900 atmosphères, et pour l'Antisana, de 1500 atmosphères. Que sont en comparaison nos plus puissantes machines à vapeur dont la force n'excède pas 10 atmosphères? (Beudant, *Cours élém. de minér. et de géologie*, p. 47).

Digitized by Google

» dense. Sous cette pression puissante on peut concevoir de nou-» velles dissolutions à de très hautes températures, de l'eau même » liquide dans les minéraux liquéfiés, etc. » Par suite de sa moindre pesanteur spécifique, l'eau doit tendre à monter vers la surface par les autres fissures ou cavités qui peuvent se trouver à la partie inférieure de l'écorce terrestre, et elle remontera, dans ces canaux, plus haut que l'orifice du trou de communication avec la mer, puisque celle-ci se trouve dans les dépressions de la surface. L'eau, en s'élevant graduellement, passera à l'état de vapeur dès qu'elle arrivera à un point où sa force élastique sera supérieure à la pression qu'elle supporte, etc.

Le reste de l'explication de l'auteur, pour faire remonter les matières incandescentes à la surface, nous a paru peu-être moins précis que le commencement de son intéressant mémoire : ainsi nous n'y voyons point comment la lave pourrait s'élever plus haut que le niveau de la mer, et même atteindre ce niveau, sa densité étant près de trois fois celle de l'eau, ni comment la force élastique de la vapeur pourrait élever une colonne de lave de 5 myriamètres, si elle ne peut pas même exister à l'état de vapeur sous une colonne d'eau d'égale hauteur, et dont la pression est deux fois moindre. Il y a d'ailleurs dans cette question un élément essentiel qui n'est pas suffisamment déterminé, c'est celui du maximum de tension de la vapeur dans la circonstance donnée, maximum qui est encore très diversement évalué par les physiciens. Nous avons vu aussi que la loi de l'accroissement de température, lorsqu'on s'enfonçait dans la terre, ne pouvait pas être regardée comme établie (*antè*, p. 78) : aussi répéterons-nous à ce sujet ce que nous avons déjà dit relativement à la théorie de la terre, que les données expérimentales sont encore insuffisantes pour conduire à une appréciation un peu rigoureuse des causes de ces phénomènes.

Dans une note additionnelle, M. Angelot (1) a recherché si les matières qui se solidifient annuellement par suite du refroidissement du globe pouvaient contenir en dissolution, à elles seules, l'immense quantité de substances gazeuses qui s'échappent en une année par les volcans, les fumerolles, les sources gazeuses, etc., et ayant trouvé cette cause peu en rapport avec les produits, il est amené de nouveau à regarder comme source contingente l'introduction des eaux de la mer.

(1) *Bull.*, vol. XIII, p. 398, 402. 1842.

Digitized by Google

Enfin, dans une troisième communication sur ce sujet (1), l'auteur, après avoir rectifié quelques chiffres de ses précédents mémoires, présente diverses observations sur les circonstances qui peuvent faire cesser les phénomènes volcaniques, telles que l'obstruction des canaux de communication, comme nous avons vu que M. Bischof l'avait aussi indiqué, et d'où il avait déduit le même résultat, c'est-à-dire l'extinction des volcans anciens de l'Auvergne et du Vivarais, etc. Des considérations semblables portent à admettre le rétablissement des canaux obstrués, et par conséquent le renouvellement des éruptions après un temps plus ou moins long.

Une des idées les plus heureuses de cette dernière note de M. Angelot nous paraît être celle par laquelle il explique pourquoi les roches ignées sont d'autant plus vacuolaires, celluleuses et scoriacées qu'elles sont plus récentes, et il fait voir comment l'introduction de l'eau de la surface, à laquelle il attribue cet effet, n'a pas pu se produire anciennement.

Pour que cette introduction soit possible, dit-il, il faut que la crevasse ou le canal par lequel l'eau doit passer ne soit pas obstrué à son orifice par une colonne ascendante de matières minérales liquides, surgissant par suite de la pression de l'enveloppe; il faut surtout que l'écorce du globe ait acquis une épaisseur suffisante pour que la colonne d'eau descendante puisse, par sa hauteur, produire une pression capable de détruire la force élastique de la vapeur développée au contact des matières ignées. Or, cette épaisseur de l'écorce du globe n'a pu être atteinte qu'après une longue suite de siècles, ou plutôt d'âges géologiques; et c'est peut-être de ce moment que datent les nouveaux phénomènes, les éruptions volcaniques proprement dites, et la production des scories. L'épaisseur de l'écorce s'accroissant graduellement, la pression produite par la colonne d'eau est devenue de plus en plus considérable, et par suite a pu faire entrer en dissolution dans les matières minérales liquides une plus grande quantité de vapeur d'eau, ce qui a produit un accroissement dans le nombre, mais surtout dans la grandeur des effets volcaniques.

Une troisième hypothèse sur l'origine des volcans se déduit, comme on sait, du refroidissement du globe, dont, lamasse venant à se contracter, l'écorce solide qui pèse sur le noyau liquide déter-

(1) *Ibid.*, vol. XIV, p. 43, 49. 1843.

Digitized by Google

mine accidentellement l'ascension de petites parties de ce liquide dans les crevasses du sol ou dans les cheminées qu'elles déterminent, réalisant en quelque sorte l'idée que nous donne du Pyriphlégéton le prince des philosophes grecs. Aussi M. le marquis de Roys (1), en rappelant que le refroidissement de la terre est très près de sa limite, trouve dans les éruptions volcaniques une preuve que cette limite n'est pas atteinte; et, de son côté, M. Angelot (2) fait voir que cette hypothèse n'embrasse pas la généralité des résultats, et que l'on ne comprend pas pourquoi tous les volcans ne feraient pas éruption au même moment, ou bien pourquoi ceux qui sont moins élevés se reposent pendant que la lave s'épanche par un orifice situé à une plus grande hauteur. Mais, à cet égard, il ne faut pas perdre de vue que la quantité de lave produite par l'éruption la plus considérable est infiniment petite relativement à la masse liquide totale; ainsi M. Cordier a démontré que, répartie à la surface de la terre, elle ne formerait pas une couche de 1/500 de millimètre d'épaisseur, et qu'une contraction de l'écorce solide, qui réduirait son rayon de 1 millimètre, suffirait pour produire 500 éruptions des plus violentes. Or la pression exercée par la croûte recouvrante peut être comparativement si faible, eu égard au périmètre de la sphère, que l'effet se trouve atténué à une très petite distance du point où il aura été produit.

Une autre hypothèse invoque l'action et l'expansion des vapeurs et des gaz contenus dans les laves à l'intérieur du globe, et qui tendent à se dégager et à les entraîner dans leur mouvement ascendant, de la même manière que les liquides renfermant des gaz comprimés sont entraînés avec rapidité hors du vase qui les contient, lorsque la pression cesse ou diminue. Enfin on a vu (*antè*, p. 29) que M. W. Hopkins avait déduit de sa théorie du refroidissement de la terre, qu'il n'y avait point de communication entre les orifices volcaniques et la surface du noyau fluide interne. La matière fondue des volcans doit se trouver, suivant lui, dans des espèces de réservoirs ou lacs souterrains, mais elle ne constitue pas un véritable océan.

§ 12. Infusoires des volcans.

Les découvertes de M. Ehrenberg viennent d'établir un lien, resté jusqu'alors inaperçu, entre les produits des phénomènes ignés et

---

(1) *Bull.*, vol. XIII, p. 249. 1842.
(2) *Ibid.*, p. 185.

Digitized by Google

ceux des phénomènes qui se passent sous les eaux. Déjà nous avons fait voir l'importance que le développement de l'organisation microscopique avait encore de nos jours dans la formation des dépôts sédimentaires soit marins, soit d'eau douce, et nous dirons ici quelques mots de leur présence dans les matières rejetées par les volcans en activité. Les conclusions auxquelles le savant micrographe de Berlin est d'abord arrivé sont les suivantes (1) :

« 1° L'observation microscopique nous apprend qu'il existe évidemment des masses d'infusoires volcaniques qui ont éprouvé » l'action du feu ou ont été frittés.

» 2° Parmi les gisements d'infusoires frittés, ceux par exemple » qui sont restés à l'état de *polischifer*, on ne trouve aucune trace » de pollen de conifères, ni des corps carbonisables que l'on rencontre ailleurs si fréquemment mélangés.

» 3° On voit dans les masses provenues des profondeurs des volcans, des corps organisés microscopiques qui, comme ceux de » Moya et de Quito, renferment des débris de plantes imparfaitement » carbonisés, ou bien qui, comme les roches de ponce et de tufa, » les présentent dans un état de carbonisation complète. D'après les » transformations opérées par ce frittement dans ces masses, on » demeure convaincu que l'hypothèse qui veut que les ponces aient » été, au sein des eaux, souillées par la pénétration de matières étrangères, n'est pas admissible. Il est facile d'imiter artificiellement » cet état de frittement.

» 4° On n'observe pas que toutes les ponces soient constituées » par des êtres organisés. On présume qu'elles n'ont conservé ce caractère des petits tests cellulaires siliceux que lorsqu'il n'y a pas » eu dans le mélange un flux énergique pour les faire couler en un » verre. C'est un caractère de cette ponce de présenter des cellules » fines et arrondies. De nouvelles recherches sont nécessaires pour » déterminer dans quels rapports l'obsidienne, qui en est très voisine, » se rencontre dans les formations ponceuses.

» 5° Dans le voisinage d'un grand nombre de volcans qui rejettent » ou ont rejeté des ponces, il y a de grands gisements d'infusoires » qui ont été considérés, mais presque toujours à tort, sous les

(1) *Acad. de Berlin*, oct. 1844 et avril 1845 et 1846, p. 189. — *L'Institut*, 5 mars 1845, p. 91, et 27 août 1845, p. 307. — *Amer. Journ.*, vol. XLIX, p. 397. — *Quart. Journ. geol. Soc. of London*, vol. II, n° 7, p. 73. 1846.

Digitized by Google

» noms de terre à porcelaine, cendres volcaniques, schistes à polir, » *Kieselguhr*, *Saugschiefer*, demi-opale et porphyre désagrégé, » comme étant dans un rapport direct avec les volcans; mais aussi » il y en a d'autres qui proviennent bien réellement des profondeurs » et de l'action des volcans.

» 6° On rencontre des roches phonolitiques qui paraissent évi» demment se trouver en relation intime avec les animalcules à test » siliceux.

» 7° Chose remarquable, c'est que dans tous les cas, d'ailleurs » très nombreux, parvenus à notre connaissance en Europe, en » Afrique, en Asie et en Amérique, les circonstances microscopico» organiques qui peuvent avoir exercé ou qui exercent encore une » influence directe sur les volcans, *appartiennent*, *à une seule* » *exception près* (dans la Patagonie), *aux organisations d'eau* » *douce*.

» 8° Il résulte probablement de cet aperçu bien simple des phé» nomènes, que des couches peut-être carbonifères, déposées jadis » dans les profondeurs d'activité des volcans et qui sont presque » identiques avec celles actuelles, ou plus exactement que les masses » incalculables de tufas, ponces, trass, moya ou terrains de sédi» ment, en tout semblables à nos masses de tourbe et de vase de » marais, ont dû être englouties périodiquement dans l'abîme des » volcans pour y être frittées et en être ensuite rejetées.

» 9° La vie microscopique indépendante se présente donc ici de » nouveau comme ayant exercé une influence puissante et inatten» due, tant sur la partie solide du globe que sur les volcans de sa » surface, influence qui mérite certainement d'être étudiée, et se » recommande à l'attention générale du monde savant. »

L'île de l'Ascension, entièrement dépourvue d'arbres et de sources, dit M. Ehrenberg, présente un énorme amas de cendres volcaniques qui consistent presque entièrement en débris organiques. Ce sont pour la plupart des parties fibreuses de plantes, parmi lesquelles se rencontrent beaucoup de denticules marginales de graminées, mélangées de quelques infusoires siliceux dont les formes appartiennent exclusivement aux eaux douces.

En décrivant précédemment (p. 218 et 499) la dernière éruption de l'Hékla, nous avons parlé des cendres qui avaient été recueillies jusque sur les îles Schetland et Orcades; M. Ehrenberg a soumis au microscope celles de ces cendres qui étaient tombées sur le pont d'un vaisseau danois, *l'Helena*, le 2 septembre, à

9 heures du matin, se trouvant par 61° lat. N., et 7° 58′ long. O. de Greenwich (1). Un nuage épais poussé par un vent fort du N.-O. un peu O. s'approcha du vaisseau, qui fut couvert de cendres ainsi que les voiles. Le même jour eut lieu l'éruption de l'Hékla distant de 533 milles anglais. D'après M. Forchhammer, le nuage a dû parcourir 46 milles à l'heure.

Parmi les fragments inorganiques ressemblant à du verre pilé très fin, d'un brun vert foncé, et qui paraissent être de l'obsidienne, M. Ehrenberg a reconnu des carapaces d'infusoires siliceux (*Navicula silicula*, *Cocconeis* n. sp.), cinq *Phytolitharia* siliceux et deux corps combustibles. Ces formes organiques, qui sont presque toutes connues pour être d'eau douce ou terrestres, excluent l'idée qu'elles aient pu être mêlées à la poussière volcanique, pendant le trajet, par une cause accidentelle. Elles sont en outre très uniformément disséminées dans toute la masse pulvérulente. Des cendres prises en Islande, au pied même du volcan, et provenant probablement de la même éruption, ont présenté les mêmes formes que celles qui avaient été recueillies aux Orcades. Les fragments de ces cendres montrent, dans la cassure, des cellules remplies d'une terre brun-clair, ou qui tapisse seulement les parois des cellules, et dans cette même terre brune on trouve une grande quantité de coquilles d'infusoires et des *Phytolitharia;* toutes sont d'eau douce, hormis une dont l'origine est douteuse. Des circonstances qui ont accompagné le phénomène, et de l'état des corps, on peut conclure que le mélange des fragments organiques a eu lieu immédiatement dans le volcan, et qu'il n'est pas dû à l'introduction accidentelle et postérieure de particules étrangères.

L'examen de nouveaux échantillons de cendres de l'Hékla (2) y a fait reconnaître 32 espèces de corps organisés, dont 3 se trouvaient dans la poussière tombée aux Orcades. Sur les 37 ou 38 espèces déterminées et provenant de cette dernière éruption d'Islande, 15 ont été décrites comme d'eau douce, et se retrouvent dans la

---

(1) *Mem. on meteoric dust*, etc. Mémoire sur la poussière météorique et les produits volcaniques de l'Hékla, renfermant des corps organisés (*Bericht über d. Verhandl. d. k. p. Akad. zu Berlin f.*, déc. 1845, p. 398, et 1844, cah. 8, p. 324. — *Quart. Journ. geol. Soc. of London*, vol. IV, p. 10 des Notices, n° 9, fév. 1847).

(2) *Bericht*, etc., 1846, p. 149 et 158; 4 mai. — *Quart. journ. geol. Soc. of London*, vol. IV, p. 14 des Notices. 1847.

Digitized by Google

tourbe d'Hussavic et dans les eaux saumâtres de Reykiavik; plusieurs autres ont leur analogue au Labrador, au détroit de Kotzebue. Aucune n'est décidément nouvelle. Toutes sont propres aux eaux douces, d'où il semble résulter que l'eau de la mer n'est absolument pour rien dans la formation de ces cendres.

Ces découvertes, aussi curieuses qu'inattendues, devront à l'avenir être prises en considération dans les hypothèses que l'on fera sur l'origine des volcans et sur la manière dont on peut supposer que les phénomènes ont lieu; mais on peut voir dès à présent qu'elles ne sont nullement favorables à celle des hypothèses dont nous avons parlé, qui invoque la communication plus ou moins directe des eaux de la mer avec les foyers volcaniques.

Appendice bibliographique.

W.-B. Clarke. — *On certain meteoric phenomena*, *vicissitudes in the seasons*, etc. Sur certains phénomènes météoriques, les vicissitudes des saisons, etc., supposés en rapport avec les éruptions volcaniques (*Magaz. nat. hist.*, avril, mai, juillet 1834).

H. Girard. — *Ueber Erdbeben und Vulkane*. Sur les tremblements de terre et les volcans, in-8. 1845.

Comte de Byland Palstercamp. — *Théorie des volcans*, 3 vol. in-8, avec atlas in-fol. Paris, 1835.

L. de Buch. — *Sur les cratères de soulèvement et les volcans* (*Bull.*, vol. IX, p. 355. 1838).

De Hoff. — *Geschichte des durch*, etc. Histoire des changements naturels arrivés à la surface de la terre et démontrés historiquement, in-8, vol. III à V. Gotha, 1834-1841. — Dans le vol. IV, qui a paru en 1840, se trouvent mentionnés tous les tremblements de terre et les éruptions volcaniques, depuis les temps historiques jusqu'en 1759. Le vol. V, publié en 1841, renferme la continuation du même sujet jusqu'en 1805, et un résumé pour 1821 à 1832. Une partie de ces catalogues avait déjà été insérée dans les *Annales de Poggendorff*.

Constant Prévost. — Article *Volcan*, dans l'*Encyclopédie des gens du monde*, vol. XXI, p. 660.

Walter. — Sur l'affaiblissement de l'activité volcanique depuis les temps historiques. 1844 (en allemand).

De Leonhard. — *Atlas des volcans*.

Digitized by Google

Pseudo-volcans.

De Meyer. — *Pseudo-volcan produit par des lignites de la mollasse près de Tschernetz*, en Valachie (*Neu. Jahrb.*, 1836, p. 84).

Krauss. — *Pseudo-volcan dans les marnes bitumineuses du lias à Boll* (Wurtemberg) (*Ibid.*, 1842, p. 580-581).

F. Roemer. — *Roches pseudo-volcaniques du lias, près de Hildesheim* (*Ibid.*, 1843, p. 332-334).

— *Pseudo-volcan dans la houille de Commentry* (Allier) (*Ibid.*, 1843, p. 112).

B. Cotta. — *Sur des forts vitrifiés en Lusace, semblables à ceux de l'Écosse* (*N. Lansitz Magaz.*, 1839).

T.-L. Mitchell. — *Pseudo-volcan à la montagne de Wingen ou Burning-Hill* (*Three exped. into the interior of E. Australia*, vol. I, p. 12. 1838).

CHAPITRE IV.

TREMBLEMENTS DE TERRE.

§ 1. Résultats généraux.

Nous suivrons ici à peu près le même ordre que dans le chapitre II, où nous avons traité des eaux minérales et thermales : ainsi nous exposerons d'abord les résultats généraux obtenus par des recherches faites en Europe et dans les parties adjacentes de l'ancien monde, puis nous mentionnerons les observations de détail, dans l'ordre géographique ordinaire, et nous terminerons par l'examen des idées théoriques qui ont été proposées pour expliquer les tremblements de terre.

L'ouvrage de M. de Hoff que nous venons de citer (p. 600), est celui où l'on trouve le plus grand nombre de documents historiques sur ce genre de phénomène ; mais il ne nous paraît pas susceptible d'analyse, et nous y renvoyons comme à la source la plus riche que nous connaissions encore sur ce sujet.

M. Alexis Perrey s'est également occupé de rassembler toutes les données qu'il a pu se procurer sur les tremblements de terre, et les divers catalogues qu'il en a dressés et publiés successivement renferment déjà une quantité très considérable de matériaux. Nous ne nous occuperons en ce moment que de la partie numérique de ces recherches, remettant à parler plus loin des considérations générales ou théoriques qu'il en a déduites.

Dans un premier travail, adressé à l'Académie des sciences (1), l'auteur signale 987 tremblements de terre ressentis en Europe et en Syrie depuis l'année 306 de notre ère jusqu'en 1800. Sur ce nombre, 212 se sont manifestés pendant l'hiver, 163 au printemps, 148 en été et 206 en automne. Les autres ont eu lieu dans des saisons indéterminées. L'hiver et l'automne sont ainsi les saisons où le phénomène a été le plus fréquent. Les mois de janvier et de

(1) *Recherches historiques sur les tremblements de terre* (*Compt. rend.*, vol. XIII, p. 899. 1841).

Digitized by Google

décembre présentent les nombres maximum, et le solstice d'hiver l'emporte sur celui d'été comme sur les équinoxes. MM. de Hoff, Peter Merian et Fréd. Hoffmann, qui se sont aussi beaucoup occupés de considérations numériques pour établir le mode de distribution des tremblements de terre dans les différentes saisons de l'année, s'étaient accordés pour indiquer un *maximum* vers les équinoxes (1), résultat essentiellement différent du précédent.

Dans une communication subséquente (2), M. Perrey a porté à 1,329 le chiffre des tremblements de terre connus, sans compter 76 tremblements d'assez longue durée et dont les secousses se sont prolongées plus ou moins longtemps. Ces nouveaux éléments ne changeaient d'ailleurs rien à la fréquence du phénomène par rapport aux époques de l'année.

En étendant ces recherches à une période plus rapprochée et pour laquelle les observations plus nombreuses et plus exactes permettaient aussi des conclusions plus précises, l'auteur a trouvé (3) que les tremblements de terre ressentis en Europe et dans les parties adjacentes de l'Asie et de l'Afrique, de 1801, époque à laquelle finissait le catalogue précédent, au mois de juin 1843, étaient au nombre de 926, non compris 19 dont la durée s'est prolongée plus ou moins longtemps, et qu'il serait difficile de traduire en nombre, relativement aux mois. Ainsi, pour moins d'un demi-siècle on a pu rassembler les trois quarts du nombre des renseignements obtenus pour les quinze siècles antérieurs.

Pour les 42 années et 1/2, ces tremblements de terre sont répartis par mois de la manière suivante : janvier 99, février 100, mars 92, avril 59, mai 55, juin 55, juillet 74, août 78, septembre 72, octobre 92, novembre 60, décembre 78. En outre, 6 sont signalés en hiver et en automne, 1 au printemps, et 6 avec la date de l'année seulement. En les groupant par saisons, on trouve 291 tremblements de terre en hiver, 169 au printemps, 224 en été et 230 en automne.

En réunissant pour ce siècle les saisons deux à deux, on obtient, pour l'automne et l'hiver 527 tremblements de terres, et 394 pour le printemps et l'été. Ainsi, les deux dernières saisons présentent à peine les 3/4 des faits des deux autres, résultats que M. Perrey a

(1) De Humboldt, *Cosmos*, vol. I, p. 518.
(2) *Compt. rend.*, vol. XV, p. 613. 1842.
(3) *Ibid.*, vol. XVII, p. 608. 1843.

Digitized by Google

presque constamment trouvés dans ses divers modes d'appréciation. Le total de toutes les observations faites depuis l'année 306 jusqu'au mois de juin 1843 est de 2,301 tremblements de terre, dont 591 se sont produits en hiver, 404 au printemps, 442 en été et 526 en automne. En outre, 48 ont été signalés en hiver et en automne, 11 au printemps et en été, et 279 avec des dates annuelles seulement. L'automne et l'hiver réunis en offrent 1165; le printemps et l'été, 857, c'est-à-dire un peu moins des 3/4. La moyenne de l'année serait de 40.

Pour les mêmes parties du globe, la totalité de l'année 1843 a donné des résultats conformes à la loi indiquée précédemment (1). Les six mois d'avril à septembre ont fourni 17 ou le 1/3 des phénomènes de l'année, dont le nombre a été 47. La moyenne des dix dernières années ne serait que de 34 pour l'Europe. L'année 1841, qui est exceptionnelle, en offre 51.

Dans la liste des tremblements de terre ressentis en Europe et dans les parties voisines de l'Asie et de l'Afrique pendant les années 1843 et 1844 (2), on trouve la confirmation de la prédominance marquée des phénomènes de l'automne et de l'hiver réunis, sur ceux du printemps et de l'été. La moyenne annuelle, pour la France et la Belgique, serait abaissée alors entre 7 et 8.

M. Perrey, dans ses travaux ultérieurs, relatifs à certains pays ou à certaines régions naturelles, est souvent revenu sur les chiffres généraux précédents, qu'il a modifiés successivement au fur et à mesure qu'il complétait ses premières recherches. Ainsi, dans son *Mémoire sur les tremblements de terre ressentis en France, en Belgique et en Hollande, depuis le* IV^e *siècle de notre ère jusqu'à l'année* 1843 *inclusivement* (3), après avoir constaté dans ces pays 702 phénomènes, dont 200 en hiver, 133 au printemps, 137 en été et 186 en automne, puis 35 avec dates annuelles seulement, 11 avec date des saisons, et un certain nombre qui se sont prolongés plus ou moins longtemps, l'auteur indique (p. 94) 3,249 tremblements de terre ressentis en Europe et dans les parties voisines de l'Asie et de l'Afrique. Sur ce nombre il y en a eu 807 en hiver, 616 au printemps, 633 en été et 744 en automne. Parmi les 549 restant, 68 sont mentionnés seulement avec date de saison, 381

(1) *Compt. rend.*, vol. XVIII, p. 393. 1844.
(2) *Ibid.*, vol. XX, p. 1444. 1845.
(3) *Mémoires couronnés et publiés par l'Acad. roy. de Bruxelles*, vol. XVIII. 1845. — *Rapport de M. Quetelet* (*Bull. de l'Acad. de Bruxelles*, vol. XI, p. 308. 1844).

Digitized by Google

avec date de l'année, et 100 n'ont pu être répartis dans les mois de l'année à cause de leur durée prolongée.

L'Italie est le pays de l'Europe où il y a le plus de tremblements de terre, la Russie celui où il y en a le moins. Dans la chaîne de l'Oural, qui n'a ni trachyte, ni sources thermales, les tremblements de terre sont presque inconnus. Il ne paraît pas d'ailleurs y avoir de périodicité dans les phénomènes, et leur nombre est très inégalement réparti dans les diverses années.

Enfin, à la suite du *Mémoire sur les tremblements de terre dans le bassin du Danube* (1), mémoire sur lequel nous reviendrons plus loin, nous trouvons le résumé suivant de tous les faits réunis par M. Perrey, depuis l'an 306 de notre ère jusqu'à 1844 inclusivement, et comprenant, comme ci-dessus, l'Europe et les parties adjacentes de l'Asie et de l'Afrique (p. 64).

Janvier.	336	ou 876 en hiver.
Février.	275	
Mars.	265	
Avril.	235	ou 646 au printemps.
Mai.	210	
Juin.	201	
Juillet.	216	ou 673 en été.
Août.	236	
Septembre. . .	221	
Octobre. . . .	252	ou 784 en automne.
Novembre. . . .	232	
Décembre. . . .	300	

« Dans ce résumé ne sont pas compris : 1° 68 tremblements de » terre mentionnés avec date de saisons seulement, et dont il y en » a 52 en hiver ou en automne et 16 dans le printemps ou l'été ; » 2° 385 tremblements de terre mentionnés sans autre date que » celle de l'année; 3° environ 100 tremblements de terre que leur » durée plus ou moins longue excluait d'un tableau mensuel.

» C'est donc une masse de 3,432 faits, dont 2,979 avec dates » mensuelles. En groupant les saisons par couple, je trouve, dit » M. Perrey : du 1er octobre au 31 mars (automne et hiver), 1,712; » du 1er avril au 30 septembre (printemps et été), 1335. Or, » 3/4 de 1,712 = 1,284, 4/5 de 1,712 = 1,370. » Le rapport des tremblements éprouvés dans les deux dernières saisons à ceux des deux premières est donc compris entre 3/4 et 4/5, mais il s'approche plus de la première de ces fractions. Ce rapport, dans le bassin

(1) *Ann. de la Soc. roy. d'agriculture, etc., de Lyon*. 1846.

Digitized by Google

du Danube, est de 6/7 à très peu près, et dans celui du Rhin il n'est pas même égal à 2/5.

A ce mémoire l'auteur a joint des tableaux synoptiques destinés à faire voir le plus grand degré de fréquence des phénomènes dans les diverses époques de l'année, d'abord en Europe, dans la presqu'île scandinave, puis dans la zone boréale déprimée qui s'étend de l'Elbe à la presqu'île du Kamtchatka. Cette dernière est divisée en deux parties, l'une qui se dirige de l'Elbe à l'Oural, l'autre de cette chaîne à la mer de Behring.

Quant à leur direction, M. Perrey a donné (p. 72) le tableau suivant de la direction moyenne des secousses :

Régions.	Direction d'où provient la résultante.	Intensité de la résultante.
Europe entière.	N. 33° 42′ E.	0, 61
Bassin du Danube.	O. 2° 39′ N.	0, 64
Scandinavie.	S. 22° 30′ O.	0, 94
Zone boréale totale. . . .	N. 23° 55′ E.	1, 06
Zone boréale d'Europe. . .	S. 17° 45′ O.	0, 23
Zone boréale d'Asie. . . .	N. 23° 48′ E.	3, 14

« Ce dernier tableau, dit l'auteur, nous montre la direction » moyenne des secousses sensiblement parallèles à l'axe de la vallée » dans le bassin du Danube; c'est ce que nous avions déjà trouvé » pour le bassin du Rhône. Dans la zone boréale déprimée de l'Eu- » rope et de l'Asie, où les cours d'eau sont généralement dirigés à » peu près dans le sens des méridiens, nous retrouvons un résultat » tout à fait analogue. La Scandinavie nous offre une direction ré- » sultante peu inclinée sur l'axe de la chaîne scandinave; on sait » d'ailleurs que dans les Pyrénées les secousses se propagent aussi » suivant l'axe de la chaîne. »

En 1845, on a ressenti en Europe 50 tremblements de terre bien distincts, et qui se sont trouvés répartis en nombres à peu près égaux dans les diverses saisons, ce qui n'avait pas encore eu lieu d'après M. Perrey (1). Le même savant a encore donné une *Liste des tremblements de terre ressentis en Europe pendant l'année* 1844, liste précédée de la relation d'un certain nombre de secousses éprouvées en 1843 et qui n'avaient point été mentionnées précédemment (2). Il pense que la moyenne annuelle des phénomènes

---

(1) *Compt. rend.*, vol. XXII, p. 644. 1846.
(2) Extrait des *Mémoires de l'Académie de Dijon*. 1845.

doit atteindre 60 à 70, ce qui donnerait 5 tremblements de terre par mois et 6,000 ou peut-être 7,000 par siècle. Enfin, il a publié en 1847 une nouvelle *Liste des tremblements de terre ressentis pendant les années* 1845 *et* 1846 (1), tant en Europe que dans les diverses parties du globe, et de plus un supplément pour l'année 1844. De son côté, M. Colla avait fait connaître les tremblements de terre éprouvés en 1834 (2) et en 1836 (3).

M. A. Perrey a déduit aussi de la comparaison des nombreux éléments qu'il a rassemblés quelques considérations générales que nous énoncerons ici. Ainsi il a remarqué (4) que dans les secousses consécutives, et à plus forte raison dans des tremblements de terre différents, la direction variait : des commotions d'abord verticales sont devenues horizontales, *et vice versâ*, et des secousses se succédant à de courts intervalles ont eu plusieurs fois des directions rectangulaires entre elles. Nous ferons voir tout à l'heure comment d'une observation qui est exacte on a pu tirer cette conclusion qui ne l'est pas. On distingue encore des mouvements de giration ou des tourbillonnements. M. Perrey rapporte un certain nombre de faits accessoires et de circonstances particulières, tels que les phénomènes météorologiques, magnétiques ou hydrauliques qui ont accompagné les secousses, la direction de celles-ci par rapport aux plaines, aux plateaux, aux vallées, aux chaînes de montagnes, à la direction des couches, etc. ; puis il conclut de ce mémoire :

1° Que la cause des tremblements de terre a son origine à de très grandes profondeurs dans l'intérieur du globe; 2° qu'elle n'est pas unique, ou du moins qu'elle ne se manifeste pas d'une manière toujours identique par rapport aux temps, aux lieux, ou même relativement aux effets produits; 3° que les effets des tremblements de terre ne sont pas toujours uniquement dynamiques; 4° qu'ils sont quelquefois accompagnés de phénomènes chimiques, électriques ou électro-chimiques, lesquels en général ne peuvent être considérés comme causes des commotions souterraines; 5° que ces commotions enfin donnent assez souvent naissance à des dégagements de gaz ou d'autres fluides, lesquels paraissent produire, dans certaines cir-

(1) In-8. Dijon, 1847.
(2) *Bibliot. italiana*, n° 232, p. 144. 1835. — *Supplemento*, n° 248, p. 253. 1836.
(3) *Ibid.*, n° 258, p. 425. 1837.
(4) *Compt. rend.*, vol. XVII, p. 608. 1843.

Digitized by Google

constances, des phénomènes météorologiques, soit de lumière, soit de calorique ou d'hypsométrie.

Si les recherches de l'auteur ne paraissent pas l'avoir conduit encore à déterminer, d'une manière précise, la direction des tremblements de terre, et à distinguer nettement les mouvements ondulatoires latéraux et parallèles, cela tient sans doute à ce que les observations manquent à cet égard, et il est probable que lorsqu'on a cru reconnaître des directions perpendiculaires entre elles, ce n'était que le résultat des mouvements d'ondulations, observés sur des lignes parallèles à l'axe principal de vibration. Convaincu de l'importance de la direction du phénomène, M. Perrey a cherché à déterminer au moins une sorte de moyenne, et pour cela il a considéré la cause du mouvement dans un sens donné comme proportionnelle en intensité au nombre des secousses dans ce sens, nombre qu'il a composé comme des forces dont la résultante serait cette même direction. Par ce procédé, qui a été employé pour le tableau ci-dessus (*antè*, p. 605), il a trouvé que, pour le bassin du Rhône, la direction de la résultante était sensiblement parallèle à l'axe du bassin, au moins dans sa partie inférieure. En général, les secousses sont parallèles ou perpendiculaires à l'axe du bassin et à celui de la chaîne où l'on observe; les directions intermédiaires sont beaucoup plus rares (1). Ici encore nous émettrons des doutes sur les directions perpendiculaires, au moins pour la généralité des cas mentionnés; et quant à cette manière abstraite de déterminer la direction des tremblements de terre, nous dirons que, sans être précisément contraire aux résultats des observations directes faites avec soin dans ces derniers temps, elle nous paraît peu avantageuse, à cause de l'incertitude des données qu'elle emploie.

A la suite de son catalogue des tremblements de terre ressentis dans le bassin du Danube (2), le même savant s'est attaché à faire voir qu'ils avaient eu lieu par tous les temps et dans toutes les circonstances météorologiques; que plusieurs fois ils avaient été accompagnés de variations subites dans la température, dans l'état hygrométrique et dans l'état électrique de l'air; qu'il est aussi arrivé que les oscillations ou vibrations du sol et l'apparition de divers

(1) *Mém. sur les tremblements de terre du bassin du Rhône* (*Ann. de la Soc. d'agric., sc. et arts de Lyon*, p. 265. 1845).
(2) *Ann. de la Soc. d'agric., sc. et arts de Lyon*. 1846.

météores ont été simultanées ; mais de tous ces faits, dit M. Perrey, il serait prématuré d'établir aucun principe général, jusqu'à ce que la publication de nombreux catalogues vienne fournir les éléments d'une discussion rationnelle. Il ne paraît pas certain non plus que l'électricité et le magnétisme terrestre soient intimement liés aux causes des commotions souterraines; mais un fait qui mérite toute l'attention des physiciens, c'est que de fortes secousses se firent sentir avec tant de violence dans les mines d'argent de Marienberg, en Saxe, au commencement de ce siècle, que les ouvriers effrayés se hâtèrent de remonter; sur le sol même on n'avait éprouvé aucune secousse. Le phénomène inverse eut lieu en 1823 ; les mineurs de Falun et de Persberg n'éprouvaient aucune secousse au moment où, au-dessus de leurs têtes, un violent tremblement de terre jetait l'effroi parmi les habitants du pays (1).

Le résultat le plus remarquable des recherches de l'auteur, résultat qui ressortait de son premier mémoire, et qui fut en partie confirmé par les suivants, c'est *le plus grand degré de fréquence du phénomène durant l'hiver et l'automne ;* cependant ce caractère n'est point applicable aux Antilles, où l'époque de l'équinoxe d'automne a une prépondérance marquée, non plus qu'aux Pyrénées, où les tremblements de terre sont aussi fréquents et même davantage en été qu'en hiver, et aussi communs au printemps qu'en automne. Enfin, à Palerme, dans une période de 40 ans, près du quart des secousses s'est produit dans le mois de mars ; la hauteur du baromètre n'y a d'ailleurs jamais paru influencée par le phénomène (2). Celui-ci varierait donc avec les lieux comme avec les temps.

Dans son *Mémoire sur les tremblements de terre ressentis en France et en Belgique* (3), M. Perrey a essayé d'établir, par un certain nombre de combinaisons, les rapports numériques des tremblements de terre dans les divers mois et dans divers pays, rapports au moyen desquels il a construit des *courbes seismiques.* Mais la connaissance réelle du phénomène peut-elle gagner beaucoup à ce mode de recherches qui nous semble conduire souvent à des conclusions peu exactes, parce que ces recherches elles-mêmes

(1) De Humboldt, *Cosmos*, vol. I, p. 521.

(2) G. Bischof, *Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXVI. 1839. — *Amer. Journ.*, vol. XXXVII, p. 41. 1839.

(3) *Mém. couronnés et publiés par l'Acad. roy. de Bruxelles*, vol. XVIII. 1845.

Digitized by Google

sont obtenues avec des données incomplètes, et qui ne sont pas comparables? Ainsi le tableau (p. 93) embrasse quinze siècles et demi, du IVe au XIXe; mais pour les IVe, VIIe et VIIIe siècles, on ne possède aucun document. Pour les douze siècles et demi que l'on considère, les documents sont d'autant plus vagues, incertains et moins nombreux, que ces siècles sont plus éloignés de nous. Or, quelle valeur accorder dans le calcul aux chiffres placés dans les mois du IXe au XVIIIe siècle, puisque le rapport de ces chiffres entre eux ou avec le *nombre réel* des phénomènes pendant ces mois n'est pas connu, et qu'il peut même être inverse de celui qu'indiquent les *nombres employés?* Cependant, dans le total de la colonne de chaque mois, ces unités ont la même valeur que celles des mois correspondants au XIXe siècle, qui ont un certain degré d'exactitude. Ce tableau, comme d'ailleurs tous ceux du même genre, se compose de nombres dont les unités sont d'autant moins exactes par rapport au nombre réel des phénomènes, que l'on remonte davantage dans les siècles passés jusqu'à atteindre le *zéro* ou le IVe siècle.

S'il y a réellement quelque rapport entre la fréquence des phénomènes et certaines saisons, on ne peut pas dire cependant que l'on ait encore trouvé l'influence ou la condition météorologique avec laquelle les tremblements de terre sont en relation constante; et l'esprit même se refuse jusqu'à un certain point à chercher dans les causes atmosphériques l'origine des secousses du sol, tandis qu'il est naturellement porté à les rattacher à la constitution de ce même sol et aux accidents qu'il a éprouvés ou qu'il éprouve encore. En outre, si les faits des Antilles et des Pyrénées ne sont que des exceptions locales, il reste à prouver que, dans l'hémisphère Sud, les phénomènes sont dans des rapports numériques inverses de ceux de l'hémisphère Nord, pour que la relation avec les saisons subsiste; or, rien de semblable n'a été constaté jusqu'à présent.

M. Perrey a déjà rendu de grands services à la science par cette direction qu'il a donnée à ses études si consciencieuses, mais nous craignons que, trop exclusivement préoccupé de certaines considérations de temps ou de saisons, il n'ait pas assez tenu compte des rapports plus intimes et plus directs qui peuvent exister entre la manifestation des tremblements de terre et les caractères orographiques d'un pays, caractères qui traduisent ceux de la croûte externe, et en partie ceux de la croûte interne du globe, en tant qu'ils nous font connaître l'importance et la direction des brisures

Digitized by Google

qu'elle a éprouvées, telles que les failles, les lignes synclinales et anticlinales, etc. Une autre étude positive non moins essentielle serait celle de la structure des roches, de leur stratification et de leur direction, du voisinage des évents volcaniques plus ou moins en activité ou éteints, et plus ou moins considérables, des sources thermales et de leur disposition alignée dans telle ou telle direction; en un mot, il nous semble que des catalogues, quelque nombreux et quelque exacts qu'ils soient, ne pourront jamais suppléer à un examen comparatif et direct des rapports des tremblements de terre avec tous les phénomènes tant anciens que modernes dont l'écorce terrestre nous a gardé les traces.

Nous regrettons également que le désir bien naturel de faire connaître rapidement le résultat de ses recherches ait obligé l'auteur, pour le mérite duquel nous professons la plus profonde estime, à les insérer tantôt dans un recueil, tantôt dans un autre, de manière à rendre assez difficile leur comparaison et leur coordination. Il nous semble enfin qu'en se hâtant moins, les conclusions numériques ou autres seraient aussi moins exposées à être modifiées par de nouveaux documents; elles gagneraient ainsi en précision, en certitude, et par conséquent en importance, ce qui compenserait, et au-delà, suivant nous, le faible inconvénient des retards que cette marche plus lente pourrait occasionner.

§ 2. Distribution géographique des tremblements de terre (1).

Islande. M. E. Robert a mentionné, à la fin de son ouvrage (2), 19 des principaux tremblements de terre qui ont agité l'Islande, depuis 1161 jusqu'en 1815, mais aucun d'eux ne paraît correspondre aux phénomènes du même genre qui ont eu une grande énergie soit dans le sud de l'Europe, soit en Amérique.

Scandinavie. M. Keilhau a appelé l'attention sur les tremblements de terre de

---

(1) Nous n'avons tenu compte, dans ce qui suit, que des renseignements puisés dans les recueils scientifiques, et qui ont un caractère suffisant d'authenticité. Les journaux quotidiens ne nous offraient aucune garantie à cet égard. Nous ne prétendons point d'ailleurs donner ici un catalogue complet de ces phénomènes; ce travail eût exigé des recherches toutes spéciales; nous avons voulu seulement présenter un tableau qui permît d'apprécier d'une manière générale leur plus ou moins de fréquence et d'énergie sur les divers points du globe.

(2) *Voyage en Islande et au Groënland*, p. 312.

Digitized by Google

la Norwége dans un mémoire publié en 1835 (1), et où il a réuni les documents relatifs à ces phénomènes dans toute la Scandinavie. Il y a cité quelques uns des exemples les plus remarquables et le mieux constatés de secousses accompagnées de changements de niveau dans des districts d'une étendue considérable. Après avoir exposé quelques unes des théories émises sur les tremblements de terre, il a donné une relation assez détaillée de celui qui eut lieu dans la Norwége septentrionale, le 31 août 1819, et qui s'est fait sentir au-delà du cercle polaire. A Luuroë, des secousses très fréquentes se sont manifestées du 7 mars au 29 novembre 1827. M. Keilhaü pense que la presqu'île scandinave est beaucoup plus sujette aux tremblements de terre qu'on ne le croit généralement, et il se propose de faire des observations suivies pour s'assurer s'il n'y aurait pas quelque rapport entre eux et les mouvements si lents, mais non douteux, du sol d'une partie de la péninsule.

M. A. Perrey, dans son catalogue des tremblements de terre ressentis dans la presqu'île scandinave (2), mentionne 252 faits de ce genre, dont 32 avec des dates annuelles seulement et 6 avec dates de saisons. Ici, comme on l'a vu pour le reste de l'Europe, l'hiver et l'automne l'emportent sur le printemps et l'été, et le nombre des secousses ressenties dans ces deux dernières saisons n'atteint que les 3/4 de celles qui ont été éprouvées pendant les deux premières. Les mois de décembre et de janvier, qui comprennent le solstice d'hiver, l'emportent aussi sur le solstice d'été, de même que sur les équinoxes. Quant à la direction, il y a encore peu de certitude; elle avait été admise comme étant généralement S.-O., N.-E. (la direction de la chaîne est N.-S.), mais le fait ne paraît pas suffisamment constaté. Quoi qu'il en soit, la direction moyenne semble faire un angle très aigu avec celle de la chaîne.

Dans ce travail, l'auteur a omis une distinction fort importante, suivant nous, et qui consistait à séparer les tremblements de terre de l'Islande de ceux de la Scandinavie, au lieu de les réunir pour se livrer ensuite à des considérations, que nous apprécierons ailleurs, sur une masse de faits étrangers les uns aux autres quant

---

(1) *Magaz. for naturvidenskaberne*, vol. XII, p. 82. Christiania, 1835. — *Bull.*, vol. VII, p. 18. 1835.

(2) *Sur les tremblements de terre de la péninsule scandinave* (*Voyage de la corvette* la Recherche. *Géographie physique*, vol. I, p. 409. 1845).

Digitized by Google

au pays et probablement aussi quant à la cause. L'Islande, située à 17 ou 18 degrés à l'O. de la Scandinavie, et qui est entièrement volcanique, n'a aucune espèce de rapports naturels avec cette presqu'île. C'est donc confondre des choses entièrement différentes et dont on ne peut rien conclure. Il eût fallu rechercher, en outre, les tremblements de terre qui ont pu se manifester en même temps dans les deux pays, et ceux, au contraire, qui se sont montrés indépendants.

Danemark. Des secousses ont été ressenties à Arendal, en Norwége, au mois de janvier 1845, et le 4 février dans l'île de Touengen (1), où elles furent accompagnées d'un grand bruit et d'une violente tempête, ainsi que dans le Jutland, le 3 avril 1841 (2).

Iles Britanniques. M. M'Farlane a communiqué à l'*Association britannique* le rapport de la commission instituée pour enregistrer les tremblements de terre ressentis en Écosse (3), et M. David Milne a publié des notices sur ceux qui ont eu lieu dans la Grande-Bretagne et particulièrement en Écosse. Il a fait suivre ces notices de quelques considérations auxquelles il a été amené relativement à la cause des chocs (4). Des secousses ont été signalées sur la côte de Lyme-Regis, le 24 décembre 1839 (5), à Chichester, en septembre 1833 et janvier 1834, puis en 1835 (6). MM. W. Buckland et D. Milne ont présenté le rapport du comité chargé en 1842 d'enregistrer les secousses de tremblement de terre, et de faire en même temps les observations météorologiques qui seraient jugées nécessaires (7).

M. R. Edmonds a rendu compte d'un mouvement extraordinaire de la mer sur la côte du Cornouailles, au mois de juillet 1843. Il a

---

(1) A Perrey, *Bull. de l'Acad. de Bruxelles*, vol. XII, p. 353, 1845. — *L'Institut*, 5 mars 1845, p. 96.

(2) Forchhammer. *Overs. over det Kongl. Dansk.*, etc. Revue des travaux de la Soc. roy. des sc. de Danemarck en 1841.

(3) *Rep. 14th Meet. brit. Assoc. at York.* 1844. — *L'Institut*, 28 nov. 1844.

(4) *Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXXI, p. 92 et 259; XXXII, p. 362; XXXIII, p. 372; XXXIV, p. 85; XXXV, p. 137; XXXVI. p. 72. — *Rep. 10th Meet. brit. Assoc. at Glasgow*, 1840, p. 97. — Alexis Perrey, *Bull. de l'Acad. de Bruxelles*, vol. XII, p. 353. 1845.

(5) *Neu. Jahrb.*, 1841, p. 716.

(6) *Société royale de Londres*, 4 juin 1835. — *L'Institut*, 7 oct. 1835.

(7) *Rep. 13th Meet. brit. Assoc. at Cork*, 1843 p. 120.

Digitized by Google

rappelé en même temps les mouvements semblables qui s'étaient manifestés les années précédentes et les tremblements de terre ressentis dans cette province, lesquels auraient occasionné sur les côtes une invasion momentanée et irrégulière des eaux de l'Océan (1). L'auteur a publié peu après des observations sur les rapports remarquables des phases de la lune avec les tremblements de terre, les oscillations de la mer et avec de grands changements atmosphériques, et il y a joint des tableaux qui peuvent être utilement consultés. Il est encore revenu plus tard sur ce sujet, et il ne doute pas que ces divers phénomènes ne soient le plus ordinairement produits par l'influence de notre satellite (2). M. R. Solly (3) a traité du mouvement des tremblements de terre transmis sous les eaux.

France.

Les secousses éprouvées en Auvergne, le 8 et le 9 octobre 1833 (4), ont été l'objet d'une notice dans laquelle l'auteur attribue le phénomène à des dégagements d'électricité de l'intérieur de la terre. A Niort, d'après une lettre de M. Tribert (5), des secousses ont été ressenties en 1835, et M. N. Boubée (6) a annoncé qu'un tremblement de terre avait eu lieu à St-Bertrand de Comminges, le 27 octobre 1835. D'après M. Phillips (7), le cirque de Troumouse, au moment de la secousse, aurait été entouré d'une colonne d'air sulfuré et brûlant, empêchant la respiration, assertion que M. Longchamp a combattue en faisant remarquer que l'azote était le seul gaz qui se dégageât des sources du pays (8).

Dans la nuit du 4 au 5 juillet 1841, des secousses ont été ressenties dans les départements de la Côte-d'Or, d'Indre-et-Loire, du Cher, du Loiret, de Seine-et-Marne, de Seine-et-Oise près de

(1) *Roy. geol. Soc. of Cornwall.* 30th *ann. Rep.*, p. 111. 1843.— *Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXXVIII, p. 271. 1845. — Voyez aussi : *Sur le tremblement de terre du 17 fév.* 1842, *The Mining Journ.*, et *l'Institut*, 24 mars 1842. — D. Milne (*Proceed. roy. Soc. of Edinburgh*, 19 fév. 1844), un mémoire sur le même tremblement de terre. — J. Hunt (*Philos. Magaz.*, nº 136), sur le même phénomène.

(2) *Rep.* 15th *Meet. brit. Assoc.*, 1845 (Londres, 1846), p. 20.

(3) *Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXXVII, p. 44. 1844.

(4) *Acad. des sc. de Clermont*, 7 nov. 1833. — *L'Institut*, 8 fév. 1834.

(5) *Compt. rend.*, vol. I, p. 429. 1835.

(6) *Ibid.*, p. 322.

(7) *Ibid.*, p. 469.

(8) *Ibid.* — *L'Institut*, 23 déc. 1835.

Digitized by Google

Longjumeau, puis à Orsay, Chevreuse, Sèvres, Meulan, Marines, et à Paris sur les deux rives de la Seine; cependant la marche et la position d'aucun des instruments de l'Observatoire n'ont manifesté d'altération sensible.

La Bretagne a éprouvé des secousses le 22 décembre 1843 (1), et le 15 janvier 1845 on en a ressenti à St-Malo (2). Celles du département de Maine-et-Loire ont fait l'objet d'une notice publiée par M. A. Perrey (3), qui a donné aussi un mémoire sur les tremblements de terre du bassin du Rhône (4). Depuis le XVI^{e} jusqu'au XIX^{e} siècle, il signale dans cette vallée 191 phénomènes de ce genre, dont 62 en hiver, 32 au printemps, 35 en été et 53 en automne; 7 sont indiqués avec la date de l'année seulement. L'hiver et l'automne présentent encore ici une prépondérance marquée sur les deux autres saisons. M. A. Perrey fait remarquer (5) que dans les dix années de 1833 à 1842 la moyenne annuelle est de 7 à 8 pour la France et la Belgique. La Bourgogne, beaucoup plus souvent ébranlée que la Champagne, l'est cependant beaucoup moins que l'Alsace, le Dauphiné, le Lyonnais et même que la Franche-Comté.

Espagne. Des secousses ont été ressenties à Alicante le 2 mars 1845 (6), et M. A. Perrey doit publier dans le courant de cette année le catalogue général des tremblements de terre qui ont été mentionnés dans la péninsule depuis les plus anciens documents (7).

Portugal. M. D. Sharpe (8) a cherché à établir le rapport des effets produits par le tremblement de terre de Lisbonne en 1755 avec la nature du sol de cette ville. Pour cela il a eu recours à la relation publiée en 1758 par Jean-Baptiste de Castro, relation faite d'après

---

(1) *L'Institut*, 7 fév. 1844. — Voyez aussi, pour plusieurs tremblements de terre en 1843, le même journal du 8 juin 1843 et du 23 novembre id.

(2) *Bull. de l'Acad. de Bruxelles*, vol. XII, p. 353. 1845.

(3) In-8. Angers, 1844.

(4) *Ann. de la Soc. roy. d'agriculture, sc. et arts de Lyon*, vol. VIII, p. 265. — Voyez aussi: Fournet, *Note additionnelle aux recherches sur les tremblements de terre de M. Perrey* (*Ibid.*, vol. VIII, p. 347, 1846).

(5) *Mém. de l'Acad. de Dijon*. 1845.

(6) *Bull. de l'Acad. de Bruxelles*, vol. XII, p. 353. 1845.

(7) Voyez vol. X des *Annales de la Société d'agriculture de Lyon*. 1847.

(8) *Transact. geol. Soc. of London*, vol. VI, p. 130. 1841.

Digitized by Google

les documents recueillis dans chaque paroisse, et il y a ajouté l'examen de l'ancienneté relative des édifices publics et particuliers qui existent aujourd'hui.

L'extrémité occidentale de Lisbonne est bâtie sur le calcaire à Hippurites, et tout le reste de la ville sur les couches tertiaires horizontales d'Almada, recouvrant transgressivement le précédent. La partie haute de la ville repose sur les bancs supérieurs solides, et la partie basse sur les marnes bleues qui les supportent.

La plus grande énergie du tremblement de terre fut limitée dans l'espace occupé par ces marnes argileuses, et, de tous les bâtiments élevés sur ce sol, il n'en resta pas un seul debout. Les édifices construits sur les couches tertiaires immédiatement au-dessus furent plus ou moins affectés par les secousses, tandis que ceux que supportaient le calcaire à Hippurites et le basalte demeurèrent intacts. La ligne suivant laquelle la force de la secousse a cessé d'être destructive coïncide exactement avec la limite du terrain tertiaire. Les mêmes circonstances se sont reproduites autour de la ville. Ainsi Saccaven, village bâti sur les couches tertiaires, a beaucoup souffert, tandis que Quelus et Odivellas, qui sont sur le basalte, ont été épargnés. Le pont de l'aqueduc d'Alcantara, qui se trouve à la jonction du basalte et du calcaire à Hippurites, n'a point non plus souffert. Ces observations sont donc tout à fait contraires à l'opinion de Link et d'autres écrivains qui ont prétendu que les secousses pouvaient être en relation avec la présence des basaltes.

Quelques documents ont été publiés sur des tremblements de terre ressentis à Rome les 10 et 11 janvier 1836, le 2 juillet 1834 à Vérone (1), et le 6 du même mois à Glurenz en Tyrol (2). M. A.-Ant. Rossi a écrit une histoire des tremblements de terre de la Calabre, dans les années 1835 et 1836 (3), et il a signalé particulièrement les secousses du val de Crati pendant l'automne de 1835, celles du district de Rossano en 1836, et de Lagonegre dans l'automne de cette même année. L'auteur a présenté aussi quelques considérations sur la cause de ces phénomènes. Italie.

M. Billiet (4) a fait connaître que, du 19 décembre 1838 au Savoie.

(1) *Neu. Jahrb.*, 1834, p. 707.
(2) *Ibid.*, p. 688.
(3) Naples, 1837.
(4) *Mem. della r. Accad. di Torino*, 2e sér., vol. II, p. 55. 1840. — *Bibl. univ. de Genève*, vol. XXIX, p. 155. 1840.

Digitized by Google

18 mars 1840, on avait éprouvé dans la Savoie 50 secousses, dont 10 assez fortes, et de plus 20 ou 25 trépidations peu sensibles. La direction a paru être généralement N.-O., S.-E., à peu près dans le sens du méridien magnétique. L'étendue de la surface du sol agitée, ou sur laquelle les secousses ont été ressenties, est restée à très peu près la même. Ainsi toutes ces commotions étaient produites par une seule et même cause qui, pendant ce temps, a exercé son action en un même point de l'écorce terrestre, de telle sorte qu'un laps de six mois (du 19 décembre au 16 juin) ne l'a pas déplacée. Ces secousses imprimaient au sol un mouvement de vibration et non de soulèvement et d'abaissement successifs : aussi le savant archevêque de Chambéry compare-t-il la portion de la croûte du globe, mise ainsi en vibration, à une cloche ou à tout autre corps sonore qu'un choc quelconque fait vibrer.

M. L. Pilla a donné une relation du tremblement de terre qui fut ressenti à Sangermano et au monastère du Mont-Cassin, au printemps de 1837 (1). Vers le milieu du mois de septembre 1845, on a éprouvé plusieurs secousses dans les duchés de Parme, de Modène, de Lucques, et en Toscane (2), de même qu'à Borgotaro (duché de Parme), le 24 mars de la même année (3). Le 14 août 1846, un tremblement de terre agita la Toscane. La direction était N.-O., S.-E., c'est-à-dire parallèle à la chaîne de l'Apennin et à la côte S.-O. de la péninsule italique. Il occasionna de grands ravages dans la campagne, et M. L. Pilla, dans une lettre écrite peu de jours après, a donné une relation fort intéressante de ces désastres. Il a particulièrement insisté sur l'influence qu'exerçaient la forme et la composition du sol par rapport aux effets des secousses sur les édifices qu'il supporte (4).

M. A. Perrey (5) a dressé un tableau des tremblements de terre

(1) *Relazione dei tremuoli che afflissero*, etc., in-4. Naples.

(2) *L'Institut*, 12 nov. 1845.

(3) *Bull. de l'Acad. de Bruxelles*, vol. XII, p. 356. 1845.

(4) *Compt. rend.*, vol. XXIII, p. 468. 1846. — *Id. Istoria*, etc. Histoire du tremblement de terre qui a dévasté les cantons de la côte de Toscane le 14 août 1846, in-8. Pise, 1846. — Voyez aussi les relations de M. Calamai, de M. Tabani et de M. Pistolesi, ainsi que les observations de M. A. Perrey (*Liste des tremblements de terre en 1845 et 1846*, p. 49, in-8. Dijon, 1847). — P. Savi, *Relazione*, etc. Relation des phénomènes observés dans le tremblement de terre de la Toscane en 1846, in-8. Pise, 1846.

(5) *Mém. sur les tremblements de terre ressentis en France et*

Digitized by Google

ressentis en Italie et en Savoie, du IVe au XIXe siècle. Sur 1134 phénomènes de ce genre, dont 96 ne sont indiqués qu'avec la date de l'année, et 18 avec celle des saisons seulement, il y en a eu 307 en hiver, 259 au printemps, 206 en été, et 248 en automne. L'hiver conserve ici sa prépondérance ordinaire, mais l'automne se trouve au même rang que le printemps.

M. Mérian a publié successivement : 1° un *Mémoire sur les tremblements de terre ressentis en Suisse* (1) ; 2° *sur les tremblements de terre autour de Bâle* (2) ; 3° *Liaisons des tremblements de terre avec les phénomènes aériens* (3); 4° *Secousses du 29 au 30 mars* 1842 *en Suisse* (4) ; 5° *id. à Bâle le* 25 *mars* 1843 (5) ; 6° *Relation d'un tremblement de terre ressenti en Suisse et en Savoie, et de l'éboulement d'une butte près de Salins au mois de janvier* 1840 (6). Suisse.

Les indications suivantes, dues à M. Noeggerath, étaient d'abord les seules que nous connussions sur cette partie de l'Europe occidentale : 1° tremblement de terre du 17 décembre 1834 dans le district de Coblentz (7) ; 2° ceux de 1832 à 1835 (8) ; 3° tremblements de terre ressentis aux mois de mars et d'avril 1841 (9) ; 4° tremblements de terre aux environs de Mayen et de Niedernundig, près du lac de Laach (10) ; tremblements de terre dans les cercles de Mayen et de Coblentz, le 13 octobre 1842 (11). M. Weltmann avait donné aussi une notice sur les tremblements de terre ressentis dans la Westphalie en 1841 (12). Bassin du Rhin.

Mais le mémoire de M. A. Perrey sur les tremblements de terre du

---

en Belgique (*Mém. couronnés par l'Acad. de Bruxelles*, vol. XVIII, p. 7. 1845.

(1) *Revue du progrès social*, septembre 1834. — *L'Institut*, 19 nov. 1834.

(2) In-8. Bâle, 1834. — *Neu. Jahrb.*, 1836, p. 388.

(3) *Bericht üb. d. Verh. d. naturf. Ges. in Basel*, 1838, p. 65. — *Neu. Jahrb.*, 1839, p. 581.

(4) *Ibid.*, 1842, p. 160. Bâle, 1843.

(5) *Ibid.*, 1844, vol. VI, p. 39.

(6) *Neu. Jahrb.*, 1841, p. 602.

(7) *Neu. Jahrb.*, 1837, p. 705.

(8) *Ibid.*, 1839, p. 471, 473.

(9) *Arch. f. Miner.* de *Karsten*, vol. XVI, p. 349, 357. 1841.

(10) *Ibid.*, vol. XIV, p. 572. 1840.

(11) *Ibid.*, vol. XVII, p. 791. 1843.

(12) *L'Institut*, 2 juin 1842.

Digitized by Google

bassin du Rhin, y compris celui de la Meuse et de ses affluents (1), est venu compléter tout ce que ces données laissaient à désirer. Depuis le IXe siècle jusqu'en 1844, il y a eu 557 tremblements de terre, dont 160 en hiver, 103 au printemps, 101 en été, et 165 en automne; 28 n'ont pas été indiqués avec dates mensuelles. L'hiver et l'automne en renferment 327, le printemps et l'été 205. Ce dernier nombre, à peu près les $\frac{2}{3}$ du précédent, indique un rapport semblable à celui trouvé par l'auteur pour la France, la Belgique et la Hollande. Considérés par rapport aux quatre époques solsticiales et équinoxiales, on voit que le solstice d'hiver conserve toujours sa prépondérance; mais dans le bassin du Danube, dont nous nous occuperons tout à l'heure, le solstice d'été se trouve au second rang, au lieu d'être le dernier; et dans le bassin du Rhône, on a vu que l'équinoxe du printemps se trouvait après celui de l'automne, ce qui n'a pas lieu dans le bassin du Rhin. Quant à leur direction dans ces trois bassins, les tremblements de terre présentent une grande analogie, la direction moyenne des secousses étant sensiblement celle du bassin; et nous avons dit que dans les Alpes scandinaves elle suivait aussi la chaîne, comme dans les Pyrénées.

Plus récemment encore, M. Daubrée (2) a donné une notice sur le tremblement de terre des bords du Rhin, arrivé le 29 juillet 1846, et sur plusieurs secousses ressenties la même année dans les pays environnants.

Europe orientale.

Des secousses ont été remarquées dans le duché de Raguse, en 1844 (3), et M. A. Colla (4) a publié un tableau des tremblements de terre ressentis dans la Dalmatie, en 1843 et 1844, ainsi que des phénomènes du même genre qui ont eu lieu simultanément dans diverses parties de l'Europe. M. C. Kersten (5) avait donné auparavant une relation des secousses éprouvées dans la même province, le 4 juillet 1841, et dont la direction avait été N.-E., S.-O. M. Rosthorn (6) a mentionné celles du Salzbourg et de la Styrie, le 27 août 1840, et M. Zipsex (7) les oscillations du sol qui se sont manifestées dans la Hongrie, en octobre 1834.

(1) *Mém. couronnés par l'Académie de Bruxelles*, vol. XIX.
(2) *Compt. rend.*, vol. XXIV, p. 453. 1847.
(3) *L'Institut*, 15 mai 1844.
(4) *Ibid.*, 12 juin 1844.
(5) *Neu. Jahrb.*, 1842, p. 274.
(6) *Ibid.*, 1841, p. 185, 186.
(7) *Ibid.*, 1835, p. 161, 167.

Digitized by Google

M. G. Schueler (1) a décrit les éruptions gazeuses et les fendillements qui se sont produits lors du tremblement de terre de la Valachie, le 11 et le 23 janvier 1838, et dans d'autres parties de l'Europe orientale (2). La Valachie a encore éprouvé des secousses au mois de mars 1844 (3).

Dans son *Mémoire sur les tremblements de terre dans le bassin du Danube* (4), M. A. Perrey résume de la manière suivante l'ensemble des faits qu'il a recueillis (p. 63). Depuis le v^{e} siècle de notre ère jusqu'en 1844, le nombre des tremblements de terre ressentis dans ce bassin est de 318, dont 76 en hiver, 60 au printemps, 67 en été, et 67 en automne; 48 n'ont point de date certaine. Ce chiffre 318 paraît d'abord beaucoup plus considérable que celui de 191 que nous avons vu signalé dans le bassin du Rhône (*antè*, p. 616); « mais si l'on considère, dit l'auteur, que la » superficie du premier est à celle du second :: 39 : 4, ou que la » surface du bassin du Danube est 9 ou 10 fois plus considérable » que celle du bassin du Rhône, on sera au contraire étonné du » petit nombre de faits mentionnés dans ce mémoire. » Mais cette circonstance paraît devoir être attribuée plutôt à ce que toutes les publications périodiques n'ont pas pu être consultées qu'à une moindre proportion réelle dans le nombre des phénomènes.

M. J. Davy, dans ses *Notes et observations sur les îles Ioniennes* (5), pense qu'il existe un rapport entre la nature du sol et la manifestation des tremblements de terre. On ne trouve en effet dans ces îles aucune trace de roches volcaniques ni trappéennes, et les secousses s'y trouveraient en relation avec le dépôt des marnes. Zante et Ste-Maure sont celles où le phénomène est le plus fréquent dans les parties où le sol est formé d'argile ou de marnes. On n'en ressent point au contraire là où les roches sont dures et solides. L'auteur paraît trouver l'explication de ces faits dans les hypothèses d'Anaximène, qui, suivant Aristote, attribuait les tremblements de terre à l'excessive sécheresse et à l'excessive humidité du sol. Démocrite, comme on sait, les faisait résulter de l'introduction de l'eau dans ce même sol.

---

(1) *Neu. Jahrb.*, 1840, p. 173, 191. — Bukharest, 1838. Extrait du *Romania*, n° 93.
(2) *Ann.* de *Berghaus*, vol. XVIII, p. 56. 1838.
(3) *L'Institut*, 15 mai 1844.
(4) *Ann. de la Soc. d'agric., sc. et arts de Lyon*, 1847.
(5) 2 vol. in-8. Londres, 1842. — *The Athenæum*, 15 oct. 1842.

Asie occidentale.

Smyrne et plusieurs autres villes de l'Asie mineure éprouvèrent des secousses violentes dans les derniers mois de 1845 ; des torrents de pluie ont accompagné constamment les mouvements du sol (1), et M. Ch. Texier (2) a communiqué des renseignements sur le tremblement de terre ressenti à Césarée en 1835, et qui a détruit une partie de la ville et plusieurs villages des environs.

Le 20 juin 1840, l'énorme massif de l'Ararat fut ébranlé jusque dans ses fondements ; les secousses s'étendirent au loin sur presque toute l'Arménie ; la ville de Nakhitchévane fut entièrement détruite ; les édifices d'Erivan furent plus ou moins endommagés, et les districts de Charour et de Sourmal complétement dévastés (3).

M. Moore, consul général anglais à Beirouth, a donné une relation du tremblement de terre qu'éprouva la Syrie le 1er janvier 1837 (4). A Beirouth, on ressentit la secousse à 4 heures 15 minutes de l'après-midi. Elle fut accompagnée d'un bruit sourd qui dura 15 secondes. Elle produisit peu d'effet dans cette ville, mais il n'en fut pas de même dans d'autres parties de la Syrie, comme à Damas et à St-Jean-d'Acre. Jaffa fut presque entièrement détruite, et une partie de la population ensevelie sous les décombres. Tibériade fut aussi presque complétement ruinée. Les eaux du lac sortirent de leur lit, et beaucoup d'habitants furent noyés. 39 villages ont été renversés de fond en comble, et 6 autres ont eu beaucoup à souffrir. La secousse fut ressentie sur une étendue de 90 milles en largeur et de 500 milles en longueur, d'un bout à l'autre de la vallée du Jourdain et dans la direction des montagnes qui la bordent. L'île de Chypre paraît s'être aussi trouvée dans la sphère d'activité du mouvement.

M. Sprenger a traduit de l'arabe un ouvrage très remarquable sur les tremblements de terre. L'auteur, Jelal-ed-din As-Soyuté, était un polygraphe égyptien qui mourut vers l'année 911 de notre ère. Son livre est un catalogue qui, s'il est exact, sera très précieux à consulter. Il comprend les tremblements de terre ressentis

---

(1) *L'Institut*, 24 déc. 1845, p. 456.

(2) *Compt. rend.*, vol. I, p. 231. 1835.

(3) *Rapport de M. Voskoboinikof* (*Gazette de St-Pétersbourg*, 1841). — *Bull. de la Soc. d'hist. nat. de Moscou*, année 1840, p. 105. — *L'Institut*, 1er avril 1841.

(4) *Proceed. geol. Soc. of London*, vol. II, p. 540, avril 1837. — *Bibl. univ. de Genève*, vol. LVI, p. 112. 1845.

Digitized by Google

depuis l'année 94 de J.-C. jusqu'à l'année 905, dans l'Égypte, la Syrie, l'Arménie, la Perse et les États voisins (1).

Alex. Burnes (2) a signalé le grand tremblement de terre qui eut lieu en 1832 dans la vallée de Badaksham, ville célèbre par ses rubis. Asie centrale.

De fréquents tremblements de terre viennent se joindre aux phénomènes volcaniques, aux nombreuses sources thermales et aux émanations gazeuses, pour prouver que cette grande gibbosité de l'Asie centrale, sillonnée, comme nous l'avons vu, par tant de hautes chaînes montagneuses, n'en est pas moins soumise à des mouvements intérieurs énergiques et constants. Les tremblements de terre, dit M. de Humboldt (3), sont linéaires, ou bien partent de certains centres et propagent leurs ondes dans diverses directions. Les commotions linéaires suivent ordinairement la direction des grandes chaînes, soit le long des deux versants, soit, plus ordinairement, le long d'une seule pente, et ils semblent marquer par cela même la trace de la crevasse qui a donné lieu au soulèvement de l'arête. Les secousses se propagent aussi de cette manière dans l'Amérique du Sud, soit sur le versant occidental de la Cordillère des Andes, dirigée N.-S., soit sur la pente nord de la chaîne de Vénézuéla, courant E.-O. Dans l'Asie centrale, les commotions ont été ressenties à la fois des deux côtés du Thian-chan. En 1832, un tremblement de terre traversa cependant l'Hindou-Kho du S.-S.-E. au N.-N.-O., mais cette circonstance est rare.

Au nord, c'est le périmètre de la crevasse plutonique du lac Baïkal, en partie remplie de basalte, et les sources thermales de l'Orkhan, qui doivent être considérés comme le centre d'action des tremblements de terre. Plus ordinairement, les secousses se font sentir de l'E. à l'O. sur la pente nord des monts Sayanes; mais, dans d'autres parties, les cercles de commotion se coupent, de sorte qu'un même point reçoit les secousses presque périodiquement de deux côtés opposés. C'est surtout dans la dépression Aralo-Caspienne dépourvue de volcans, mais ayant beaucoup de sources thermales,

(1) *Journ. Asiat. Soc. of Bengal*, vol. XII, p. 741. 1843.
(2) *On the geology*, etc. Sur la géologie des bords de l'Indus, du Caucase indien et de la plaine de la Tartarie, aux rivages de la mer Caspienne (*Transact. geol. Soc. of London*, vol. III, p. 491. 1833-1835).
(3) *Asie centrale*, vol. II, p. 107.

Digitized by Google

que doivent se réunir les réactions de l'Himalaya, du Kouen-lun, du Bolor et du Thian-chan.

Après avoir donné de nombreux détails sur ce sujet, M. de Humboldt fait voir (p. 114) que depuis les Montagnes Célestes (Thian-chan) et l'Asferah, le parallèle moyen passe par Boukhara, les filons ou crevasses de naphte des rives de la mer Caspienne, le mont Ararat, qui a été récemment le centre d'épouvantables secousses, le mont Argæus, et suit le bassin volcanique de la Méditerranée, se continuant au-delà par Lisbonne jusqu'aux Açores, sur une étendue totale de 120 degrés de longitude et une direction qui oscille entre 38 et 40° de latitude. C'est probablement la bande de réactions volcaniques la plus longue et la plus régulière du globe.

Asie orientale. M. Ed. Biot a publié, d'après des ouvrages chinois, le catalogue général des tremblements de terre et des soulèvements de montagnes observés en Chine, depuis les temps anciens jusqu'à nos jours (1). Plus à l'E. encore, ces phénomènes accompagnent les éruptions volcaniques du Japon, où l'on sait qu'en 684 la province de Tosa fut dévastée par un tremblement de terre, à la suite duquel la mer recouvrit plus de 500,000 acres de terres cultivées (2).

Asie méridionale. Inde. Les effets du tremblement de terre de la province de Cutch, en 1819, connus déjà par plusieurs relations, ont été de nouveau décrits par Alex. Burnes dans son *Voyage à l'embouchure de l'Indus*, *Lahore*, *Caboul*, etc. (3) ; et M. Nelson a mentionné un autre tremblement de terre et un affaissement probable du sol dans ce même district, près de l'embouchure de la Korée (branche orientale de l'Indus), au mois de juin 1845 (4).

M. J.-Mc Clelland (5) a également rappelé les phénomènes du même genre dont la côte d'Aracan a été le théâtre à diverses époques, ainsi que les abaissements du sol qui en sont résultés ; puis il a recherché les causes qui ont pu déterminer le relief actuel de la partie centrale de l'Inde. Des secousses ont été ressenties le 23 avril 1839 à Ummerapura dans le royaume des Birmans (6) ;

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 3e sér., vol. II, p. 372. 1841.
(2) De Humboldt, *Asie centrale*, vol. II, p. 544.
(3) Traduction de M. Eyriès, vol. I, p. 326. 1835.
(4) *Quart. Journ. geol. Soc. of London*, vol. II, p. 103. 1846.
(5) *Journ. Asiat. Soc. of Bengal*, vol. VII, p. 65. 1838.
(6) *Neu. Jahrb.*, 1840, p. 118.

Digitized by Google

d'autres, le 7 septembre 1845, à Calcutta, et le 23 juillet à Burrisal, puis dans l'Assam. A Calcutta et aux environs, on a observé, pendant la durée des secousses, un météore d'un éclat remarquable surtout vers le centre et dont les bords étaient d'un bleu pâle (1).

M. Baird Smith a publié quelques notes sur les commotions éprouvées récemment vers la frontière nord-ouest des possessions anglaises (2), puis un mémoire sur les tremblements de terre de l'Inde (3), où il en mentionne 16 en 1842. Dans un second mémoire (4) sur ce sujet, travail très considérable et sans doute le plus complet que l'on possède encore sur ce pays, l'auteur a traité non seulement des résultats de chaque phénomène, mais encore des conditions physiques pendant lesquelles ils se sont manifestés. Il a conclu plus tard (5) des nombreux documents qu'il avait rassemblés, que les localités sujettes aux tremblements de terre sont caractérisées par une certaine ressemblance générale. Dans la plupart d'entre elles les indications d'actions volcaniques, de violentes dislocations, de couches brisées et fendillées coïncident, avec les secousses fréquentes du sol.

Parmi ces tremblements de terre il y en a qui ont été ressentis seulement près de la mer; d'autres, au contraire, à une très grande distance, dans les régions centrales et latérales de l'Himalaya. Les chocs ont eu lieu dans ces diverses parties indépendamment les uns des autres, de manière à prouver que les forces qui les produisent sont locales et peu étendues. Elles ne peuvent donc être attribuées à un mouvement du fluide général du *nucleus* interne; aussi M. Smith admet-il comme probable l'existence, à diverses profondeurs, de réservoirs de matières gazeuses ou fluides susceptibles de produire ces mêmes forces, lesquelles, dans chaque réservoir isolé, agiraient indépendamment les unes des autres.

M. Hannay (6) a donné aussi un *memorandum* des tremblements de terre et autres phénomènes remarquables dans l'Assam supé-

---

(1) *L'Institut*, 15 oct. 1845. — *Id.*, 24 déc. 1845, p. 456.
(2) *Journ. Asiat. Soc. of Bengal*, vol. XI, p. 242. 1842. — *Edinb. new phil. Journ.*, n° 67.
(3) *Ibid.*, vol. XII, p. 258. 1843.
(4) *Ibid.*, p. 1029.
(5) *Ibid.*, vol. XIV, p. 964. 1844.
(6) *Journ. Asiat. Soc. of Bengal*, vol. XII, p. 907. 1843. — *Quart. Journ. geol. Soc. of London*, n° 1, p. 142. 1845. — *L'Institut*, 13 août 1845.

Digitized by Google

rieur, depuis le mois de janvier 1839 jusqu'au mois de septembre 1843.

Afrique. Une relation des secousses éprouvées au cap de Bonne-Espérance, au mois de novembre 1835, a été publiée dans le journal de M. de Léonhard (1), et M. Hunt (2) a fait un rapport sur la destruction de la ville de Praya de Victoria, dans l'île de Terceira (Açores), à la suite du tremblement de terre du 15 juin 1841.

Les Antilles. M. Moreau de Jonnès (3) a rendu compte d'un tremblement de terre ressenti dans l'île de la Martinique, le 11 janvier 1839, à 6 heures du matin. Il y eut deux secousses très violentes qui durèrent 30 secondes y compris l'intervalle très court qui les a séparées. Ces secousses, qui paraissaient être ondulatoires, ont été constatées dans toute la chaîne des petites Antilles, sur une longueur de plus de 200 lieues et jusqu'à 20 lieues au large dans des endroits où la mer est sans fond. Les plus anciennes traditions n'ont d'ailleurs conservé le souvenir d'aucune éruption volcanique dans cette île où deux autres secousses ont eu lieu le 2 août de la même année, à 2 heures 40 minutes du matin (4).

Plusieurs relations ont été données de la catastrophe qui ravagea une partie de la Guadeloupe en 1843. La première secousse, qui fut ressentie le 8 février à 10 heures 35 minutes du matin, détruisit de fond en comble la ville de la Pointe-à-Pître (5), et d'autres secousses se continuèrent à divers intervalles jusqu'au 31 mai suivant. D'après M. Itier (6), le sol s'est crevassé et fendillé constamment du N.-E. au S.-O., et quelques parties des côtes de la Dominique auraient été soulevées dans une direction N.-O., S.-E., c'est-à-dire perpendiculaire aux crevasses. Le segment de sphère affecté par le phénomène n'aurait eu que 25 ou 30 lieues de large, mais il se serait étendu du N.-O. au S.-E. depuis Charleston, dans la Caroline du Sud, jusqu'à Cayenne dans la Guyane et même jusqu'à l'île de Marajo à l'embouchure de l'Amazone.

De la comparaison des heures auxquelles le phénomène s'est manifesté dans divers lieux, M. Itier a cherché à apprécier la vitesse du mouvement oscillatoire, mais les points qu'il a pu com-

(1) *Neu. Jahrb.*, 1837, p. 707.
(2) *Proceed. geol. Soc. of London*, vol. III, p. 565.
(3) *Compt. rend.*, vol. VIII, p. 329. 1839.
(4) *Ibid.*, vol. IX, p. 413. 1839.
(5) *Ibid.*, vol. XVII, p. 352. 1843.
(6) *Bull.*, vol. XIV, p. 640.

Digitized by Google

parer n'étant pas pris sur des parallèles à l'axe principal du mouvement, lequel n'aurait pas été non plus déterminé exactement, il est probable que les chiffres obtenus manquent de précision. A la Guadeloupe, le mouvement s'est produit à 10 heures 35 minutes et à Cayenne à 11 heures 25 minutes, et, en retranchant 37 minutes à cause des 9°,15′ de long. E. de Cayenne par rapport à la Guadeloupe, on trouve 13 minutes pour le temps que la commotion aurait mis, en suivant un grand cercle de la sphère, à se propager entre ces deux localités distantes de 260 lieues Cette vitesse, supposée uniforme, serait d'environ 1,850 mètres par seconde, ou cinq fois et demie la vitesse du son. Mais, comme nous venons de le dire, les données fournies nous paraissent insuffisantes pour qu'on puisse admettre ces chiffres ; il semble même que ces différences d'heures ont été constatées précisément dans le sens du mouvement spontané, ce qui serait une circonstance tout à fait contraire à l'expérience, qui prouve que, dans le cas d'une manifestation linéaire, le mouvement est simultané dans cette direction, et qu'il n'est successif que sur les parallèles, ainsi que nous le verrons d'après les remarques aussi ingénieuses que précises de MM. Rogers.

MM. Du Chassaing et de Lauréal (1) ont assigné une minute et demie à deux minutes à la durée du tremblement de terre, dont les secousses furent accompagnées d'un bruit très violent. Après avoir mentionné les principaux effets du phénomène, ils font remarquer qu'il ne s'est manifesté ni soulèvement du sol, ni actions volcaniques particulières. A partir du 8 février et dans les mois suivants, plus de 200 secousses ont été ressenties.

M. Ch. Deville, qui a publié, sous forme d'*Observations* (2), un rapport très intéressant adressé à M. le gouverneur de l'Ile, établit que la secousse a eu lieu à 10 heures 40 minutes du matin, à la Guadeloupe, à la Dominique et à Antigua. Sa durée a été d'une minute et demie environ, mais sans être d'une égale intensité à tous les instants. D'abord faible, elle a augmenté jusqu'à un cer-

---

(1) *Bull.*, vol. XIV, p 611.

(2) *Observations sur le tremblement de terre de la Guadeloupe, le 8 février 1843*, in-4. Basse-Terre, 1843. — *Compt. rend.*, vol.XVII, p. 980. — Voyez aussi sur le même sujet : H. Lherminier, *Notice sur le tremblement de terre de la Guadeloupe, et rapports de ce phénomène avec l'état météorologique du pays* (*Compt. rend.*, vol. XVII, p. 980). — De la Charrière, *Récit du tremblement de terre de la Guadeloupe*, in-4. Basse-Terre, 1843.

tain degré de violence, puis elle a diminué, a acquis ensuite une nouvelle énergie et s'est affaiblie une seconde fois. Ces deux périodes du mouvement, dit M. Deville, ont été parfaitement distinguées à la Pointe-à-Pître. « Pendant la première, les maisons ont » été violemment ébranlées, mais surtout horizontalement; la se- » conde, beaucoup plus courte, mais plus désastreuse, a déterminé » leur chute. »

Le premier mouvement était une oscillation horizontale, le second un mouvement vertical de trépidation. Ce dernier, bien moins étendu que le précédent, n'a été ressenti qu'à la Guadeloupe, Antigua, Marie-Galante, et très peu à la Dominique. La direction du mouvement oscillatoire, qui s'est étendu à la Martinique et jusqu'à la Guyane, paraît avoir été O.-N.-O., E.-S.-E., ou mieux O. 30° N., E. 30° S.

L'auteur a décrit ensuite avec le plus grand soin les effets mécaniques du tremblement de terre, tels que les crevasses, puis les déjections boueuses qui ont eu lieu par celles de ces crevasses qui se trouvaient dans des lieux bas et presqu'au niveau de la mer ou des rivières. Les fentes ne s'entre-coupaient jamais dans une même localité, et leur direction était en général très variable, contrairement à l'assertion que nous venons de voir émise par M. Itier. Elles se sont produites suivant les lignes qui présentaient le moins de résistance. Les éboulements ont été nombreux et considérables, soit le long des falaises, soit sur les crêtes des montagnes. Toutes les roches, suivant leur nature et les circonstances de leur gisement, ont participé à cette destruction, et les cours d'eau, interrompus dans leur marche, se sont changés en torrents boueux.

D'autres éboulements ont eu lieu par glissement, tels que la chute du piton de la soufrière, composé de larges tables grossièrement prismatiques, inclinées vers le dehors du cône. Les roches meubles sont d'ailleurs celles qui ont été le plus violemment ébranlées, et c'est à cette circonstance qu'est due la destruction de la Pointe-à-Pitre, bâtie sur un sol de rapport que supportent des argiles et des marnes peu solides elles-mêmes. Les bourgs et les villages, établis sur des couches madréporiques récentes (*cayes*) ou sable calcaire à peine agglutiné, ainsi que sur les dépôts d'alluvion, ont ressenti des effets non moins désastreux. Ces résultats sont donc parfaitement d'accord avec ceux que nous avons vus signalés en Toscane, à Lisbonne et dans les îles Ioniennes.

Passant aux causes probables du phénomène, M. Deville fait

Digitized by Google

voir que si les tremblements de terre aussi désastreux sont rares, les oscillations du sol sont, en quelque sorte, par leur fréquence, l'état normal du pays; et, tout en traitant ce sujet avec réserve, il ne serait pas éloigné d'attribuer les secousses à des actions électriques, les supposant le résultat d'une puissante batterie voltaïque, dont le foyer serait dans les profondeurs du globe, quoique, à vrai dire, l'électricité atmosphérique n'ait montré aucune réaction dans cette circonstance. D'un autre côté, l'auteur indique aussi, comme pouvant produire les mêmes effets, une accumulation de gaz ou de vapeur d'eau, dont la pression croissant constamment finirait par vaincre une résistance ou un obstacle quelconque.

Quant à la relation des tremblements de terre avec les phénomènes volcaniques, il fait remarquer que, dans l'espace observé, les secousses se sont produites suivant des alignements parallèles; et, à une seule exception près, ces alignements étaient parallèles à un grand cercle courant O. 35° N., E. 35° S., ce qui est à peu près la direction des oscillations du tremblement de terre du 8 février. C'est en outre suivant cette même direction que paraissent avoir été soulevés les calcaires modernes des Antilles, direction qui ne diffère pas sensiblement de la ligne des côtes orientales de l'Amérique du Sud, où toute la Guyane a ressenti la secousse, et qui forme enfin le trait dominant des accidents du sol, depuis le cap San-Roque jusqu'à la pointe septentrionale de Cuba et aux Florides.

M. Bochet (1) pensait que les tremblements de terre sont plus fréquents aux Antilles depuis 1839 qu'auparavant, et que cette circonstance doit coïncider avec l'affaiblissement ou la diminution des ouragans qui ravageaient ces îles dans les mois d'août et de juillet; mais M. Moreau de Jonnès (2) a fait voir que, dans les époques antérieures, les tremblements de terre n'étaient ni moins fréquents ni moins désastreux qu'actuellement. Il a remarqué, en outre, relativement aux villes de Cumana et de Caracas, situées sur le continent américain et où ces mouvements du sol se manifestent aussi, qu'elles se trouvent au point de départ de la chaîne volcanique des Antilles, circonstance qui, comme nous l'avons vu, n'avait point échappé à M. de Buch. De plus, c'est ordinairement par ces villes que commencent les tremblements de terre qui se pro-

---

(1) *Compt. rend.*, vol. XVI, p. 1084. 1843.
(2) *Ibid.*, p. 1153.

pagent ensuite dans toute l'étendue de l'Archipel. Cette dernière observation serait contraire à celle de MM. Itier et Deville, qui ont établi que le mouvement s'était propagé de la Guadeloupe à Cayenne lors du tremblement de terre du 8 février, et toutes deux seraient opposées à celle qu'ont émise MM. Rogers pour le tremblement de terre ressenti aux État-Unis au commencement de la même année, savoir que, dans le sens de sa direction, le choc avait été simultané sur toute la ligne.

Le 14 juin 1846, de violentes secousses ont été ressenties à la Grande-Terre (1). Un ouragan, qui éclata ensuite sur la Pointe-à-Pître, cessa tout à coup lors d'une détonation qui se fit entendre. Dans l'île de la Guadeloupe, qui lui est contiguë, il ne se manifesta aucun phénomène, et les volcans ne furent nullement influencés.

Des secousses ont été ressenties à St-Domingue le 7 mai 1842 (2).

M. A. Perrey a étendu aussi ses recherches historiques aux tremblements de terre des Antilles (3). Le catalogue des secousses qu'on y a éprouvées, quoique très incomplet encore, comprend 195 phénomènes distincts, depuis le premier septembre 1530 jusqu'au 30 mars 1843. Sur ce nombre, 1 a été signalé dans le XVIe siècle, 14 l'ont été dans le XVIIe, 59 dans le XVIIIe et 121 dans le siècle actuel. Ils sont répartis par saisons de la manière suivante : 39 en hiver, 36 au printemps, 52 en été et 49 en automne. Six fois les commotions se sont continuées pendant un ou plusieurs mois de suite. L'irrégularité des documents, qui sont d'autant moins exacts qu'ils sont plus anciens, ne permet pas d'ailleurs de conclure qu'il y ait augmentation dans la fréquence du phénomène.

Les observations ne sont point non plus assez nombreuses pour qu'on admette comme positive l'influence de l'équinoxe d'automne, aux approches de laquelle les secousses semblent être plus fréquentes ; mais si l'on divise l'année en deux parties, du 1er octobre au 31 mars, et du 1er avril au 30 septembre, on trouve 74 tremblements de terre dans la première et 70 dans la seconde, c'est-à-dire deux nombres sensiblement égaux, résultat tout à fait différent

---

(1) *Compt. rend.*, vol. XXIII, p. 195. 1846.
(2) *Neu. Jahrb.*, 1843, p. 361.
(3) *Compt. rend.*, vol. X, p. 835. 1840. — Voyez le tableau corrigé et augmenté : *Mém. couronnés et publiés par l'Académie de Bruxelles*, vol. XVIII, 1845, p. 6 du mém. de M. Perrey.

Digitized by Google

de celui qui a été signalé pour l'Europe. Quant aux assertions de M. Bochet, l'auteur les conteste, comme l'avait fait M. Moreau de Jonnès.

Amérique du Nord. États-Unis.

Un article sur les tremblements de terre du Connecticut et d'autres parties des États-Unis a été publié dans le Journal de MM. Silliman (1); mais on est surtout redevable à MM. H.-D. et W.-B. Rogers (2) d'observations extrêmement intéressantes sur les secousses qui ont été ressenties aux États-Unis le 4 janvier 1843. Ces observations ont confirmé d'ailleurs l'opinion de Mitchell, que le choc n'est point simultané sur tous les points de la surface qu'il affecte (3).

Le tremblement de terre de 1843 a été constaté depuis les côtes de la Géorgie et de la Caroline du Sud jusqu'au-delà de la frontière occidentale des postes militaires, et de la latitude des Natchez à celle d'Iowa, c'est-à-dire sur un espace d'environ 800 milles dans les deux directions, et il a sans doute encore été ressenti bien au-delà. Il résulte des nombreux documents recueillis, que le choc a été simultané suivant une ligne ou bande étroite dirigée N.-N.-E., de l'extrémité ouest d'Alabama vers Nashville et Cincinnati, et aussi suivant chacune des autres lignes parallèles à celle-ci, tandis qu'il n'y a pas eu simultanéité dans les localités situées dans d'autres directions que le N.-N.-E., S.-S.-O. Les lieux placés, par exemple, à l'O.-N.-O. ressentirent le choc dans un intervalle de temps proportionnel à leur distance de la ligne N.-N.-E., S.-S.-O., parcourue simultanément par le phénomène. En d'autres termes, les secousses furent simultanées dans un sens et successives dans l'autre ou suivant la perpendiculaire.

Il demeure par conséquent établi que la surface agitée, à un moment donné, était linéaire, et que le tremblement de terre se transmettait de l'O.-N.-O. à l'E.-S.-E., ou perpendiculairement au mouvement simultané linéaire, en s'avançant parallèlement à lui-même, et en se propageant absolument comme une vague. La vitesse avec laquelle la propagation du mouvement avait lieu fut constatée de deux manières. Ainsi le moment du choc éprouvé à St-Louis et celui où il a été ressenti sur la ligne passant par Tuscaloosa, Nashville et Cincinnati, ont été séparés par un intervalle

(1) *Amer. Journ.*, vol. XXIX, p. 335. 1840.
(2) *Ibid.*, vol. XLV, p. 341. 1843.
(3) *Transact. litt. and philos. Soc. of New-York*, vol. I, p. 281-308.

Digitized by Google

de 8′ 24″, temps que le choc a employé pour se transmettre sur une étendue de 270 milles, ce qui donne une vitesse de 22 milles par minute. En comparant de même le temps qui s'est écoulé entre le choc de Nashville et celui de Columbia et Charleston, on a trouvé un intervalle de 11′ 18″; la distance étant de 380 milles, la vitesse était presque de 33 milles par minute.

D'après MM. Rogers, le tremblement de terre de la Guadeloupe du 8 février 1843, dont nous venons de parler, a confirmé l'exactitude de ces lois de la propagation des mouvements oscillatoires du sol, et dans les Indes occidentales la vitesse aurait été de 27 milles par minute, l'ondulation s'étant propagée des deux côtés d'un axe immense dirigé N.-O., S.-E. des îles Wind-Ward et Bermudes au nord, à la côte de Guinée au sud. Ainsi le tremblement de terre des Antilles n'aurait représenté que les oscillations d'un des côtés de l'axe principal, oscillations dont les effets se manifestèrent aussi parallèlement entre eux, comme l'a remarqué M. Deville.

Une secousse ressentie à Lebanon (New-Hampshire), au mois de novembre 1845, a occasionné le glissement d'une portion considérable de colline avec les maisons et les arbres qui étaient dessus, mais sans changer leur position relative (1).

Amérique du Sud.

M. A. Perrey (2) a donné une note sur les tremblements de terre de la Nouvelle-Espagne, depuis l'époque de la conquête, et M. Blair (3) a annoncé que deux secousses avaient eu lieu le 30 août 1844 à Demerara (Guyane anglaise).

Colombie. Pérou.

M. Boussingault (4) pense que les tremblements de terre les plus mémorables du nouveau monde, ceux qui ont ruiné les villes de Latacunga, Riobamba, Honda, Caracas, Laguayra, Mérida, etc., n'ont coïncidé avec aucune éruption volcanique bien constatée. Dans les Andes, l'oscillation du sol qui est due à une éruption est presque locale, tandis qu'un tremblement de terre, qui n'est lié en apparence à aucune action volcanique, se propage à des distances immenses suivant la direction des chaînes de montagnes. Cette répétition fréquente des mouvements du sol et leur peu de coïncidence avec les éruptions des volcans porteraient à admettre que,

---

(1) *L'Institut*, 8 janvier 1845. — *The Athenæum*.
(2) *Compt. rend.*, vol. XX, p. 1720. 1845.
(3) *Soc. roy. de Londres*, 1845. — *L'Institut*, 21 mai 1845.
(4) *Bull.*, vol. VI, p. 52. 1834. — *Ann. de chim. et de phys.*, vol. LVIII, p. 81. 1835. — *Bibl. univ. de Genève*, vol. LIX, p. 43.

Digitized by Google

dans le plus grand nombre des cas, ils sont dus à des causes indépendantes de ces dernières, et qu'ils peuvent être attribués à des éboulements dans l'intérieur des Andes et à des tassements par suite de leur soulèvement. Les bruits sourds (*bramidos*) qui accompagnent les secousses auraient aussi la même origine. M. Boussingault a cherché à prouver par diverses observations, soit de hauteurs comparées, soit de relèvement dans la limite des neiges, que les Cordillères s'étaient abaissées, par suite des tassements de leurs masses, et il résulterait de son hypothèse que les tremblements de terre doivent être d'autant plus fréquents dans les montagnes que celles-ci sont plus récemment soulevées. M. Virlet (1) a également adopté cette manière de voir.

Le tremblement de terre ressenti aux Antilles le 22 janvier 1834 a détruit, dans le haut Pérou, la ville de Pasto (2), et des secousses ont eu lieu à St-Salvador (Guatémala) les 1er et 2 octobre 1839 (3). M. F. Schulz a mentionné quelques uns des phénomènes de ce genre les plus remarquables, arrivés au Chili et au Pérou (4), et M. E. Chevalier, dans une note sur les effets des tremblements de terre dans ce dernier pays, a constaté l'exactitude des relations précédentes (5). M. Hamilton (6) a publié aussi un mémoire sur le grand tremblement de terre qui a affecté la côte occidentale de l'Amérique du Sud, et particulièrement sur la secousse du 18 septembre 1833, qui détruisit la ville de Tacna, au Pérou.

Chili.

Les mouvements du sol qui ont agité le Chili en 1822 et 1835 ont donné lieu à une discussion assez vive et assez prolongée, à cause des effets de soulèvement qui leur ont été attribués : aussi beaucoup de relations de ces deux événements ont-elles été publiées, soit isolément, soit dans les recueils scientifiques.

M. Woodbine Parish (7) a décrit les effets du soulèvement de la mer sur les côtes de l'Océan Pacifique par suite des tremblements de terre, et il a donné un résumé historique des phénomènes observés

(1) *Bull.*, vol. VI, p. 303.
(2) *L'Institut*, 24 mai 1834. — *Neu. Jahrb.*, 1834, p. 504.
(3) *Neu. Jahrb.*, 1842, p. 861.
(4) *Ubers. d. Arb. d. Schles. Ges. f. Vat. Kult.*, 1827 p. 38, 47.
(5) *Bull.*, vol. XIV, p. 448. 1843.
(6) *Rep. 10th Meet. brit. Assoc. at Glasgow*, 1840, p. 123.
(7) *Proceed. geol. Soc. of London*, vol. II. — *Philos. Magaz.*, mars 1836. — *Bibl. univ. de Genève*, vol. IV, 2e sér., p. 189.

Digitized by Google

depuis 1590 jusqu'en 1825. M. Belcher (1), revenant aussi sur le tremblement de terre du mois de novembre 1822, pense qu'il n'y a point eu à cette époque de changement dans le niveau relatif de la mer et des côtes. MM. Bawers et Cuming (2) ont appuyé cette opinion.

M. Alison (3) a publié une lettre sur le tremblement de terre du 23 février 1835, et M. Caldcleugh (4) a donné une relation du même évènement. Ce dernier, après avoir décrit les phénomènes qui ont accompagné le tremblement de terre, dit que, dans la baie de la Conception, les couches de schiste argileux ont été visiblement élevées de 3 à 4 pieds, et que sur d'autres points, le littoral a été également soulevé. D'après des mesures prises par le capitaine Fitz-Roy (5), l'île de Santa-Maria, située dans cette même baie, se serait élevée de 10 pieds dans sa partie nord, de 9 pieds vers le centre et de 8 pieds au sud où le port n'est presque plus praticable. L'élévation aurait été aussi plus considérable au moment du grand choc, et de petites oscillations auraient ensuite occasionné un abaissement.

M. Darwin, dans un mémoire que nous avons déjà cité (*anté*, p. 563) (6), s'est occupé d'une manière spéciale des tremblements de terre de l'Amérique du Sud et de leurs rapports avec les phénomènes volcaniques et les soulèvements du sol. En parlant de la secousse du mois de février 1835, il fait remarquer que, quelques jours après, plusieurs volcans des Cordillères, au nord de la Conception, quoique calmes d'abord, prirent une grande activité. Il est douteux cependant que l'Antujo, situé presque à la latitude de la Conception, ait été affecté par la secousse, tandis que l'île de Juan-Fernandez, éloignée de 360 milles au N.-O., fut plus ébranlée que

(1) *Proceed. geol. Soc. of London*, vol. II, p. 213.
(2) *Ibid.*, p. 214.
(3) *Ibid.*, p. 179. 1835.
(4) *Philos. Transact. roy. Soc. of London*, 1836, part. I, p. 21. — Tirage à part, in-4. Londres, 1836. — *Bibl. univ. de Genève*, 2e sér., vol. I, p. 143.
(5) *Journ. géogr. Soc. of London*, vol. VI, p. 319. — *Compt. rend.*, vol. II, p. 66. 1836.
(6) Voyez aussi : *Journal and Remarks*, par le même, in-8. Londres, 1839, p. 345. — *Ann. de chim. et de phys.*, vol. LXXI, p. 201. — *Sur un tremblement de terre ressenti le 20 janvier 1834 à Santiago* (*Neu. Jahrb.*, 1834, p. 688).

Digitized by Google

la côte opposée du continent (1). Près de Bacalo-Head un volcan sous-marin s'est élevé d'une profondeur de 138 mètres jusqu'au-dessus de la mer, et demeura en activité toute la journée et une partie de la nuit suivante. Juan-Fernandez avait été aussi fortement ébranlée par la secousse qui détruisit la Conception en 1751.

Dans cette dernière ville, en 1835, les ondulations paraissaient venir du S.-O., ce qui fut constaté par les effets produits sur les bâtiments. Les murs dont l'extrémité aboutissait à la ligne de dislocation restèrent debout, quoique disloqués, tandis que ceux qui s'étendaient parallèlement à la ligne de vibration étaient renversés par terre. M. Darwin confond évidemment ici sous le nom d'*ondulations* et d'*oscillations* les secousses linéaires et simultanées dans le sens de la direction, lesquelles sont parfaitement distinctes des véritables ondulations qui se manifestent parallèlement et à des distances plus ou moins grandes. Les effets qu'il signale sont d'ailleurs semblables à ceux qui ont été observés à la Guadeloupe.

A Chiloé, au sud de la Conception, les chocs furent très violents, mais cessèrent tout à fait au bout de 8 minutes. Le mouvement était horizontal et comparable à celui d'un vaisseau qui marche par une houle forte et régulière. Il y eut de 3 à 5 chocs par minute. La direction était N.-E., S.-O. Les arbres des forêts touchaient presque le sol dans cette direction, et une boussole posée à terre vibrait, pendant les chocs violents, de 2 degrés à l'O. et seulement de 1/2 degré à l'E. Elle se maintenait au N. durant les chocs faibles. Le volcan de Villarica, celui de toute la chaîne dont les éruptions sont les plus fréquentes, ne fut point affecté, quoique ceux du centre du Chili aient été en grande activité quelques jours après, comme nous venons de le dire. Le tremblement de terre se fit sentir sur une étendue égale à celle qui sépare la mer du Nord de la Méditerranée. La direction des secousses et le renversement des murs, d'après leur position par rapport à cette ligne, prouveraient, suivant M. Darwin, que les vibrations ne viennent pas d'une grande profondeur, et qu'elles sont dues au brisement des couches à une faible distance au-dessous de la surface du sol.

Sous le point de vue géologique, le savant voyageur admet que trois ordres de phénomènes se sont manifestés pendant le tremblement de terre du mois de février 1835 ; le soulèvement des eaux

---

(1) Voyez : T. Sutcliffe, *The earthquake of Juan Fernandez*, en 1835, in-8.

Digitized by Google

de la mer et la sortie de leur lit, le renouvellement simultané de l'activité des volcans sur des points éloignés les uns des autres, enfin l'élévation continue du sol. Ces effets sont très importants, dit-il, comme faisant partie d'une grande action et résultant d'une grande cause, modifiée seulement par les circonstances locales; et une théorie de l'origine des volcans, qui ne serait pas applicable en même temps aux soulèvements des continents, ne pourrait être regardée comme solidement établie.

Quoique bien convaincu que, dans l'Amérique méridionale, il y a de nombreux rapports entre les tremblements de terre et les simples éruptions, et que les uns et les autres appartiennent à la même classe de phénomènes, M. Darwin fait cette distinction, que les tremblements de terre qui ne sont point accompagnés d'éruption dans le moment de leur plus grande énergie sont suivis de beaucoup de petits chocs, qui indiqueraient le brisement réitéré des couches du sous-sol, tandis que dans une éruption ordinaire une communication est ouverte pendant la première secousse.

Des tremblements de terre ont été ressentis sur une étendue de 800 à 1,000 milles le long des côtes de l'Amérique du Sud, mais ils ne se sont jamais transmis à une égale distance à travers la Cordillère : aussi les villes de l'intérieur sont-elles beaucoup moins affectées par ces bouleversements que celles du littoral. Les secousses ne procèdent pas d'un point unique, mais sont comprises dans une certaine zone; car autrement l'extension linéaire du phénomène ne se comprendrait pas. Ces tremblements de terre ont été généralement accompagnés d'une élévation du sol, quoique cette élévation ne soit pas une conséquence nécessaire des secousses, au moins dans une proportion appréciable. Enfin M. Darwin résume ainsi son opinion :

1° Le premier choc d'un tremblement de terre est causé par un brisement des couches qui, sur les côtes du Chili et du Pérou, paraît avoir lieu généralement au fond de la mer située dans le voisinage; 2° il est suivi de beaucoup de fractures moins considérables qui, quoique s'étendant plus loin, n'atteignent pas la surface du sol, excepté dans les volcans sous-marins; 3° l'espace ainsi fendillé s'étend parallèlement ou à peu près aux montagnes de la côte voisine; 4° le tremblement de terre affaiblit l'énergie de la force souterraine de la même manière qu'une éruption de lave par la cheminée d'un volcan ordinaire.

D'après sa manière d'envisager le mouvement des masses fluides

Digitized by Google

internes contre les parois de la croûte et le long des axes des chaînes où elles peuvent produire des vibrations, l'auteur pense que le tremblement de terre de la Conception marque un pas dans l'élévation d'une chaîne de montagnes, et les observations de M. Fitz-Roy, que nous avons rapportées, en seraient une preuve évidente. Les chaînes résulteraient aussi d'une succession de petits soulèvements, et la plupart des chaînons parallèles dont les Andes sont composées seraient d'âges successifs, de même que leur élévation serait la conséquence de celle des continents. Nous reviendrons d'ailleurs plus loin sur cette série d'hypothèses du naturaliste anglais.

M. E. Chevalier (1) a discuté les relations qui ont été publiées sur les tremblements de terre du 19 novembre 1822 et du 20 février 1835. Le premier a été décrit par mistriss Graham, qui s'est prononcée pour un soulèvement de 3 pieds, contesté depuis par MM. Belcher, Bawers et Cuming ; et le second, comme nous venons de le voir, l'a été par MM. Alison, Gay, Caldcleugh et Darwin, qui ont, ainsi que M. Fitz-Roy, admis l'existence d'un soulèvement de la côte, tandis que M. Cuming maintient qu'il n'y en a point eu, et c'est cette dernière opinion qu'adopte M. Chevalier, en se fondant sur la comparaison des sondages exécutés en 1744 et en 1837.

La présence de coquilles marines identiques à celles qui vivent encore sur les côtes voisines, invoquée par les partisans de l'une et de l'autre manière de voir, nous paraît tout à fait en dehors de la question, car ces coquilles appartiennent à un dépôt fort étendu sur toute cette côte occidentale de l'Amérique et qui a été soulevé à une époque beaucoup plus ancienne. Quant à ces vagues énormes qui, dans quelques circonstances, se sont avancées jusqu'à une ou deux lieues dans les terres, elles ont pu, sans aucun doute, transporter des coquilles ; mais il n'en est point résulté de terrasses régulières et stratifiées comme celles que l'on observe dans le pays, et ces coquilles ne peuvent être invoquées ni pour ni contre le soulèvement.

Enfin M. Dumoulin (2), après avoir démontré que les tremblements de terre étaient indépendants des saisons, que les secousses ondulatoires seules occasionnaient des soulèvements du sol, tandis que les chocs horizontaux ne produisaient aucun effet de ce genre,

---

(1) *Géologie et minéralogie du Voyage de la corvette* la Bonite.
(2) *Compt. rend.* vol. VII, p. 75, 1838.

Digitized by Google

a présenté beaucoup de preuves qui confirmeraient le soulèvement réel du sol après le tremblement de terre du 20 février 1835.

Iles de l'Océan Pacifique.

Le même voyageur a signalé la coïncidence d'un mouvement extraordinaire des eaux de la mer aux îles Gambier, le 7 septembre 1837, jour du tremblement de terre qui détruisit la ville de Valdivia (Chili), située à 42° à l'E. de ces îles. Il en fut de même aux îles des Navigateurs pendant les journées du 7 et du 8, où des secousses se firent sentir presque sans interruption. Les tremblements de terre des îles Mariannes paraissent se lier à ceux des îles Philippines. Les éruptions des îles de l'Assomption et de Pagan coïncident avec les tremblements de terre des Mariannes, et les fissures du sol ainsi que les secousses sont toujours dirigées N., S. Le bruit souterrain qui précède les éruptions ou les tremblements de terre vient constamment du N.-E. (1).

Un tremblement de terre a été ressenti à Ternate le 2 février 1840 (2), et un autre aux Moluques, au mois de novembre 1835 (3).

§ 3. Hypothèses sur la cause des tremblements de terre.

Si, comme le pense M. Perrey, les observations exactes et complètes sont encore trop peu nombreuses pour qu'on arrive à quelque loi générale sur la manière dont se manifestent les tremblements de terre et les circonstances qui les accompagnent, à plus forte raison en est-il de même de la cause ou de l'origine première de ces phénomènes, et à cet égard on peut dire que la science n'a guère marché depuis Aristote et Sénèque.

M. Orioli (4), persuadé que les calculs d'Ampère et de Poisson avaient démontré l'impossibilité qu'il pût y avoir encore dans l'intérieur de la terre une forte chaleur initiale et un état de fusion ignée, suppose, pour expliquer les tremblements de terre et l'accroissement de température de haut en bas, qu'il existe à l'intérieur certains composés chimiques qui produisent ces effets. Ces composés auraient été formés anciennement sous certaines condi-

(1) *Compt. rend.*, vol. X, p. 835. 1840.
(2) *Neu. Jahrb.*, 1842, p. 861.
(3) *Ibid.*, 1837, p. 697.
(4) *Atti della prima riunione*, etc. Actes de la 1re réunion des savants italiens à Pise en 1839, p. 96.

Digitized by Google

tions de pression et de température, et, lorsque l'air ou l'eau de la surface vient à pénétrer jusqu'à eux, ils se décomposeraient et donneraient lieu à des développements de chaleur, de gaz et de vapeurs. Les volcans et les tremblements de terre dus à cette cause auraient ainsi une origine commune. M. Pasini a d'ailleurs démontré le peu de solidité de cette hypothèse, et nous en dirons autant de celle de la pression hydrostatique proposée par M. Toplis (1).

M. L. A. Necker (2) croit que les cavités qui se produisent dans les dépôts gypseux ou salifères, donnent lieu à des chutes du toit de ces cavernes sur le plancher solide, d'où il résulte un bruit et un choc qui s'étendent plus ou moins loin suivant l'énergie de la secousse. C'est ainsi qu'il se rend compte des tremblements de terre locaux dans les pays salifères où l'on ne connaît aucune roche ignée. Après avoir analysé ceux de ces phénomènes qui ont été le mieux constatés, il indique ceux qu'il croit pouvoir attribuer à des mouvements du sol indépendants des agents volcaniques, ceux qui peuvent être produits par ces mêmes agents, ceux enfin dont la cause paraît être douteuse.

Déjà nous avons parlé de la manière de voir de MM. Boussingault et Darwin, qui supposent des écroulements et des tassements de roches à l'intérieur de la terre ; mais cette hypothèse, qui peut naître, en effet, dans l'esprit, en face de cette ligne imposante des Cordillères, l'une des rides les plus récentes de notre planète, et le long de laquelle les tremblements de terre sont si fréquents, peut-elle se soutenir lorsqu'on jette les yeux sur les grandes plaines, sur les plateaux réguliers qui bordent de longues vallées, où les phénomènes ignés ont depuis longtemps cessé de se manifester, ainsi que tout mouvement extérieur apparent? Or, des pays où, de mémoire d'homme, des centaines de tremblements de terre ont été ressentis, n'auraient-ils pas dû être sensiblement affectés dans leur relief et dans leurs caractères extérieurs, si ces chocs avaient été occasionnés par des écroulements et des brisements de couches? Ne semble-t-il pas que des affaissements prononcés eussent dû se produire au lieu de ces soulèvements qui se constatent chaque jour?

Si les oscillations du sol sont en quelque sorte l'état normal de certains pays, les roches de l'intérieur doivent y être réduites en

---

(1) *Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXX, p. 84.
(2) *Proceed. geol. Soc. of London*, vol. III, p. 37. 1838. — *Bull.*, vol. XI, p. 14. 1840.

Digitized by Google

quelque sorte à un état fragmentaire et même pulvérulent, depuis les centaines de siècles que ces tassements et ces brisements journaliers s'y manifestent ; cependant rien ne trahit au dehors cet état incessamment trituré des roches du dedans. D'ailleurs se rend-on bien compte de l'effet mécanique d'un pareil brisement et des circonstances physiques qu'il exige? Nous ne le pensons pas, et ce côté de la question n'a jamais été abordé sérieusement. Enfin, nous avons vu que M. Darwin attribuait le soulèvement des chaînes de montagnes, et des Andes en particulier, à une succession de secousses de tremblements de terre; mais on ne conçoit pas qu'un brisement de couches, occasionné par un tassement, puisse jamais produire des soulèvements de montagnes, pas plus que l'élévation de certaines plages, quoique ce dernier mouvement ait lieu sur une échelle infiniment moindre. Cette hypothèse nous semble donc tout aussi gratuite que les précédentes.

M. G. Bischof (1) a fait remarquer que les tremblements de terre sont tellement en rapport avec les phénomènes volcaniques, qu'ils sont dus sans doute aux mêmes causes, lesquelles, d'après l'étendue sur laquelle les secousses se propagent, doivent agir à une grande profondeur. La direction de ces secousses et leur simultanéité fréquente avec les éruptions des volcans semblent établir leur connexion plus ou moins intime. Ainsi le sysmagraphe de Cacciatore élevé à Palerme a, dans 27 cas, indiqué une direction coïncidant avec les points cardinaux ; dans 90 les chocs furent E., O. dans la direction de l'Etna ; 4 S., N., et les 3 secousses du 9 février, du 30 juin et du 2 juillet 1831 ont été S.-O., N.-E. ou coïncidant avec la direction de l'île Julia.

Les motifs du savant chimiste de Bonn, pour attribuer les commotions souterraines à des vapeurs aqueuses, nous ont paru peu concluants ; mais cette observation, que les secousses, quoique se transmettant à travers toutes les espèces de roches, semblent affecter plus particulièrement les dépôts diluviens et alluviens, lui paraît digne d'attention. Il partage d'ailleurs, pour l'Amérique du Sud, l'opinion de M. Boussingault, en faisant observer que les roches arrivées au jour, au-dessus du niveau de la mer, se sont refroidies assez rapidement, mais que celles qui venaient de grandes profondeurs et qui n'ont pas atteint la surface du sol, peuvent continuer

(1) *Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXVI. 1839. — *Amer. Journ.*, vol. XXXVII, p. 41. 1839.

Digitized by Google

encore à se refroidir, se contracter et donner lieu à des brisures et à des éboulements.

Nous mentionnerons seulement ici l'hypothèse de M. A. Perrey (1) sur les inégalités supposées de la paroi interne de la croûte terrestre, inégalités qui seraient plus ou moins analogues à celles de la surface extérieure; et quant à ces tempêtes immenses que l'auteur soulève à la surface du fluide incandescent dont les vagues de feu viennent battre les flancs de montagnes renversées en forme de gigantesques stalactites, elles nous paraissent s'écarter un peu du véritable domaine de la science pour entrer dans celui de l'imagination. J.-C.-A. Peltier, dont la physique déplore la perte récente, après avoir fait remarquer la distinction tranchée qui existe entre les tremblements de terre liés aux éruptions volcaniques et dont l'effet, limité autour du foyer, est local comme la cause elle-même, et ceux qui en sont indépendants et qui se propagent à de grandes distances, ne paraît pas éloigné d'attribuer ces derniers à des actions que déterminerait la tension électrique des nuages agissant par influence dans le sol où elle développerait une tension contraire (2).

Enfin, la dernière des opinions dont nous ayons à nous occuper est celle qu'ont émise MM. H.-D. et W.-B. Rogers, à la suite des observations dont nous avons rendu compte, sur un tremblement de terre ressenti aux États-Unis en 1843, et dont la direction a été bien constatée ainsi que le mouvement ondulatoire et la vitesse de transmission de ce dernier (*antè*, p. 631). Ces géologues discutent d'abord l'hypothèse qui attribue le phénomène à un simple mouvement irrégulier (*jar*), rayonnant de quelque foyer situé profondément, ou bien d'une ligne de fracture soudaine qui atteindrait la surface à des points plus ou moins éloignés de l'origine du choc, et ensuite ils ne regardent pas non plus les mouvements ondulatoires comme comparables aux vibrations d'une corde tendue qui viendrait à être frappée. La vibration discordante (*vibratory jar*) ne serait pas davantage la cause du tremblement de terre, mais celui-ci résulterait d'un petit brisement, ou d'une sorte de grincement (*grin-*

---

(1) *Sur les tremblements de terre de la péninsule scandinave.* (*Voyage de la corvette* la Recherche. *Géographie physique*, vol. I, p. 409. 1845).

(2) *Notice sur la vie et les travaux scientifiques de J.-C.-A. Peltier*, par son fils, in-8. Paris, 1847, p. 447.

ding) des couches sous la compression et la dilatation alternative de chaque partie de la masse rocheuse pendant l'ondulation.

Au lieu de supposer, avec M. Mitchell, qu'une masse de vapeurs passe horizontalement entre les couches, ou même entre la croûte solide et la matière fluide incandescente, MM. Rogers admettent une pulsation effectuée dans la matière fondue elle-même par une brisure linéaire de la croûte, laquelle serait causée par une énorme tension résultant de l'expansion soudaine de vapeurs ou de matières gazeuses comprimées auparavant. L'ondulation serait due à un changement brusque très considérable dans la pression exercée à la surface de la masse fondue, action qui serait aussi efficace qu'un choc soudain venu d'en bas, pour produire dans le fluide de grandes vagues oscillatoires. Ces vagues, engendrées de chaque côté de l'axe de dislocation, se mouvront alors parallèlement, et les deux bandes s'uniront à leurs extrémités pour former une zone elliptique qui se dilatera rapidement, et dont le contour dépendra de la forme et de l'allongement de la déchirure. Si celle-ci est très courte, ou passe par l'orifice d'un volcan, l'oscillation sera presque circulaire, et il semble que telle a été la forme du tremblement de terre de Lisbonne.

Dans la chaîne des Apalaches, les flexions des couches, leur parallélisme remarquable, leur grande longueur, leur distribution par groupes et les lois de leurs courbes, successivement moindres en traversant le pays du S.-E. au N.-O., paraissent résulter d'oscillations de la croûte solide, semblables à des vagues agissant simultanément avec une pression horizontale ou tangentielle. Il y aurait ainsi identité entre les anciennes ondulations qui ont occasionné les flexions permanentes des couches et les tremblements de terre actuels.

Enfin les ondulations de la croûte terrestre pourraient aussi, par l'amplitude de leur développement et une énergie plus prononcée qu'aujourd'hui, rendre compte de grandes inondations, de l'envahissement presque spontané des continents par une portion des eaux de la mer, du transport des blocs, des graviers, des sables diluviens et des autres effets qui en ont été la conséquence.

Cette hypothèse des deux célèbres géologues américains nous paraît manquer de clarté dans quelques parties; elle aurait besoin aussi d'être établie sur un très grand nombre d'observations, et de plus elle est contraire à cette opinion, qui d'ailleurs resterait à démontrer également, que la cause, le point de départ ou le siége des secousses n'est pas à une très grande profondeur; peut-être aurait-il

Digitized by Google

encore fallu prendre en considération cette loi générale de mécanique rappelée par M. de Humboldt (1), et d'après laquelle tout mouvement de vibration qui se transmet à travers un corps élastique tend à en détacher les couches superficielles : ainsi l'onde d'ébranlement en se propageant dans l'écorce terrestre doit grandir à mesure qu'elle se rapproche de la surface. Mais, d'un autre côté, l'hypothèse de MM. Rogers s'accorde avec ce que les observations nous ont appris de plus certain jusqu'à présent, c'est-à-dire que la direction des tremblements de terre suit en général celle des grandes vallées ou des grandes chaînes de montagnes, et que le mouvement se propage le long d'anciennes fractures de la croûte du globe, par conséquent suivant les lignes de moindre résistance. Quoi qu'il en soit, ce point de vue mérite de fixer l'attention de ceux qui s'occupent de cette partie de la physique du globe, à laquelle vient se rattacher encore le sujet dont nous allons traiter dans le chapitre suivant (2).

Nous terminerons celui-ci par le passage du *Cosmos* où l'auteur dépeint la sensation profonde que produit sur nous le premier tremblement de terre dont nous éprouvons les secousses. « Cette im-
» pression ne provient pas, à mon avis, dit M. de Humboldt, de
» ce que les images des catastrophes dont l'histoire a conservé le
» souvenir s'offrent alors en foule à notre imagination. Ce qui nous
» saisit, c'est que nous perdons tout à coup notre confiance innée
» dans la stabilité du sol. Dès notre enfance, nous étions habitués

(1) *Asie centrale*, vol. II, p. 118. — *Cosmos*, vol. I, p. 229.

(2) Voyez aussi : *Die Erdbeben*, etc. Les tremblements de terre, analyse populaire et exposé de leurs causes physico-géologiques, par C. de K., in-8, 1 pl. Vienne, 1844 — J.-D. Forbes, *On the theory and construction*, etc. Sur la théorie et la construction d'un *séismomètre* ou instrument pour mesurer les chocs des tremblements de terre. (*Transact. roy. Soc. of Edinburgh*, vol. XV, p. 219. 1841). — Coulier, *Description du séismomètre, appareil destiné à faire connaître la force et la direction des tremblements de terre* (*Bull.*, vol. IV, p. 393, 1834). — M. Perré a adressé à l'Académie des sciences un mémoire dont nous ne connaissons encore que le titre : *La lune exerce-t-elle une influence météorologique sur les tremblements de terre* (*Compt. rend.*, vol. XXIV, p. 822. 1847). Est-ce par une erreur de typographie que l'on a écrit Perré au lieu de Perrey ? cela nous paraît probable. — Voyez encore, pour la construction et l'emploi du séismomètre, de La Bèche, *l'Art d'observer en géologie*, trad. française par H. de Collegno, p. 104.

Digitized by Google

» au contraste de la mobilité de l'eau avec l'immobilité de la terre. »Tous les témoignages de nos sens avaient fortifié notre sécurité. » Le sol vient-il à trembler, ce moment suffit pour détruire l'expé» rience de toute la vie. C'est une puissance inconnue qui se révèle » tout à coup ; le calme de la nature n'était qu'une illusion, et nous » nous sentons rejetés violemment dans un chaos de forces destruc» tives. Alors chaque bruit, chaque souffle d'air excite l'attention; » on se défie surtout du sol sur lequel on marche. Les animaux, » principalement les porcs et les chiens, éprouvent cette angoisse; » les crocodiles de l'Orénoque, d'ordinaire aussi muets que nos » petits lézards, fuient le lit ébranlé du fleuve, et courent en ru» gissant vers la forêt (1). »

(1) De Humboldt, *Cosmos*, trad. française, par M. H. Faye, vol. I, p. 243.

tized by Goo

CHAPITRE V.

SOULÈVEMENTS ET ABAISSEMENTS CONTEMPORAINS.

Les soulèvements et les abaissements du sol qui ont lieu de nos jours, quoique sur une échelle à peine sensible, sont cependant très importants à constater ; car ils peuvent servir à expliquer une foule d'anomalies apparentes que l'étude des terrains nous offre à chaque pas, et probablement aussi une grande partie des différences, tant organiques qu'inorganiques, que nous observons dans la série des dépôts sédimentaires.

Sous ce rapport, trois pays, fort éloignés les uns des autres, ont particulièrement attiré l'attention des géologues : ce sont la Scandinavie, les environs de Naples et les côtes du Chili. Dans la première de ces contrées, on a vu que les tremblements de terre sont comparativement rares et peu énergiques, et il ne s'y rencontre aucun volcan, soit éteint, soit en activité ; dans les deux autres, au contraire, les secousses du sol et les éruptions sont fréquentes. Les effets observés sur les côtes de la mer Baltique, là où la manifestation des agents internes du globe est presque nulle, sont généralement admis, tandis qu'en Italie et dans l'Amérique du Sud ils sont encore vivement contestés.

Dans son mémoire *Sur les preuves d'une élévation graduelle du sol de certaines parties de la Suède* (1), M. Lyell a d'abord rappelé que l'abaissement des eaux de la Baltique et même de tout l'Océan du Nord avait été signalé par Celsius, il y a plus de cent ans, et estimé alors à 40 pouces suédois (0^{m},989) par siècle. En 1802, Playfair pensa que ces changements devaient être attribués plutôt au sol qu'aux eaux, et M. L. de Buch émit la même opinion en 1807. Des observations faites ensuite régulièrement mirent le fait hors de doute, et M. Lyell en a trouvé de nouvelles preuves au pied du château de Calmar, et surtout autour de Stockholm. Scandinavie.

(1) *Transact. phil. Soc. of London*, 1835. — Traduction française, par M. Coulon (*Mém. de la Soc. d'hist. nat. de Neuchâtel*, vol. I. *Bull. bibliographique*, p. 1. 1836. — *Rep.* 4th *Meet. brit. Assoc.*, p. 652. Voyez aussi : de Meyendorf, *Bull.*, vol. X, p. 79. 1837.

Digitized by Google

Ainsi il a recueilli dans des monticules de sable et de gravier stratifiés des coquilles identiques à celles qui vivent dans les mers actuelles, telles que le *Cardium edule*, la *Tellina baltica* et le *Mytilus edulis*. Cette dernière espèce forme à elle seule des bancs que sa décomposition colore en une teinte violette très prononcée. Plusieurs de ces amas de coquilles se trouvent à 21 et même 27 mètres au-dessus du niveau actuel de la mer. Dans la vallée de Sœdertelje, dont les pentes sont de gneiss, le dépôt coquillier récent constitue une plate-forme horizontale de 21 mètres au-dessus du canal et qui offre la même disposition que celle des marnes subapennines.

En ouvrant les canaux qui font communiquer le lac Mœler avec la mer, on trouva plusieurs vaisseaux qui y étaient enterrés et qui paraissaient être d'une haute antiquité. Une colline, coupée pour creuser le canal inférieur, renfermait une habitation construite en bois, et qui fut découverte à 15 mètres de profondeur, ensevelie sous des sables, des argiles et du gravier stratifiés. D'après l'examen des lieux, le célèbre géologue anglais pense que cette cabane a été submergée par les eaux de la Baltique, à une profondeur de 19m,50, et que, avant d'être soulevée à sa hauteur actuelle qui se trouve à peu près au niveau de la mer, elle avait été recouverte de couches de plus de 18 mètres d'épaisseur totale.

Des strates argileux, avec *Tellina baltica*, ont été reconnus jusqu'à une distance de 80 milles des côtes, et les environs d'Upsal, qui, comme ceux de Stockholm, sont formés de granite et de gneiss, sont en partie recouverts par des dépôts plus récents et des blocs erratiques. On y voit également des *œsars* dirigés N.-S., s'élevant à plus de 30 mètres au-dessus de la rivière et composés de couches minces de sable, d'argile et de gravier, tantôt horizontales, tantôt très inclinées et traversées par des fissures verticales. Près du château d'Upsal, et vers le haut de la colline, se trouvent des coquilles récentes placées entre des lits de gravier, et des blocs erratiques couronnent le sommet. C'est d'ailleurs la seule localité en Suède où M. Lyell ait observé des coquilles dans les œsars. Les caractères stratifiés de ces dépôts et la présence de ces coquilles intactes les lui font regarder comme résultant, non d'une débâcle venue du nord, mais d'une accumulation de sédiments formés au fond du golfe de Bothnie, parallèlement à l'ancienne côte, et pendant le soulèvement successif du pays. La pente rapide des deux côtés des œsars résulterait aussi du mode de formation et non

Digitized by Google

d'une dénudation postérieure; enfin les blocs erratiques y auraient été déposés par les glaces flottantes.

Le sol de la Finlande paraît s'élever comme celui de la Suède, et l'on a trouvé près d'Abo, à 18 mètres au-dessus de la mer, une marne composée, comme celles de Stockholm et d'Upsal, de détritus des mêmes coquilles récentes.

Passant ensuite à l'examen des dépôts également peu anciens des côtes occidentales de la Scandinavie, M. Lyell y signale des coquilles très différentes de celles dont on vient de parler sur les côtes de la Baltique, et de la position des lieux où se trouvent les coquilles d'espèces récentes, tant de ce même côté de la Baltique, entre Gofle et Soedertelje, que sur les côtes de l'Océan, entre Uddevalla et Gothenbourg, il conclut que l'espace existant entre les deux mers dans cette partie de la Suède était, à une époque comparativement moderne, beaucoup plus étroit qu'il ne l'est actuellement. Des coquilles semblables à celles d'Uddevalla ont été reconnues jusqu'à près de 50 milles dans l'intérieur des terres, à Tussenddalersbacken, près du lac Rograrpen, sur le bord occidental du lac Wener, etc. (1). En résumé, M. Lyell admet un soulèvement graduel, mais inégal sur les divers points de la côte et nul dans le midi de la Scanie. L'élévation de 1 mètre par siècle a été constatée à Lœfgrundet, à Marstrand, etc.

En 1837, M. Nilsson (2) fit connaître que la Scanie, partie méridionale de la Suède, paraissait avoir éprouvé, comme le Groënland, un mouvement d'abaissement pendant plusieurs siècles. Il n'y a point d'ailleurs, dans cette province, de dépôts coquilliers récents analogues à ceux du Danemark. Linnæus, vers 1749, avait mesuré, près de Talleborg, la distance d'une grande pierre à la mer; aujourd'hui cette pierre se trouve de 30^{m},50 plus rapprochée de l'eau qu'elle ne l'était alors. Une tourbière, formée de plantes terrestres et d'eau douce, est actuellement sous la mer, dans un endroit où l'on ne peut pas supposer que ces végétaux aient été

---

(1) Voyez : Hisinger, vol. IV, p. 42, et sa carte géologique de la Suède méridionale.

(2) Lyell, *Address delivered*, etc. (*Proceed. geol. Soc. of London*, vol. II, p. 506). — Voyez aussi : Nilsson, *Sur des soulèvements et des affaissements alternatifs de la surface du sol dans le midi de la Suède* (*Forhandling vid. det af Skandinav. naturforsk.* Travaux de la réunion des naturalistes et médecins scandinaves à Gothenbourg en 1839. Gothenbourg, 1840, p. 129).

Digitized by Google

transportés par les rivières. Enfin, dans les villes maritimes de la Scanie, il y a des rues au-dessous du niveau de la mer, et, dans quelques cas, au-dessous des plus basses marées.

M. Eugène Robert (1) ne croit pas qu'il y ait un véritable abaissement du sol dans cette province, au moins suivant le sens qu'on attribue à ce mot, et les faits observés résulteraient, d'après ce géologue, du tassement ou bien du déplacement du dépôt de transport. Mais, d'un autre côté, M. Domeyko (2) a signalé des documents historiques qui établissent d'une manière positive qu'une province, appelée Witlandu, est aujourd'hui recouverte par les eaux du golfe de Kœnisberg. A l'époque de l'ordre Teutonique, elle se trouvait placée entre Pillau, Brandebourg et Bolga. M. Zeune (3) a réuni aussi quelques observations relatives à des points du pays et à des monuments élevés que l'on n'apercevait plus de certaines positions, et *vice versâ*, et il en a conclu des soulèvements et des affaissements du sol dans les provinces littorales du sud de la Baltique. Cependant ces résultats sont encore douteux à cause du manque de précision dans les moyens employés pour les constater.

M. Élie de Beaumont, dans son *Instruction pour l'expédition du Nord* (4), travail qui peut être regardé comme un résumé de tout ce que l'on sait sur les parties boréales de l'Europe, a fait remarquer que le changement de niveau actuel et le changement ancien étaient sans doute très différents l'un de l'autre. M. de Buch, qui a toujours regardé les deux phénomènes comme distincts, a démontré que l'élévation de la Suède était étrangère aux parties de la Norwège que recouvrent les couches coquillières dont nous venons de parler. Ainsi, il y a près de Luuroë des pierres runiques placées sur ces couches, si peu au-dessus de la mer, qu'il n'y aurait pas encore eu de fond pour poser ces pierres, qui sont d'une très haute antiquité, si la règle de $1^{m},30$ d'élévation par siècle, reconnue pour la Suède, était appliquée à la Norwège.

M. Keilhau (5) a décrit les dépôts d'argile et de sable coquilliers

(1) *Voyage en Laponie et en Scandinavie*, etc.
(2) *Compt. rend.*, vol. IV, p. 965. 1838.
(3) *Ann. d. Erd. volk.* de *Berghaus*, vol. XV, p. 221. 1836.
(4) *Compt. rend.*, vol. VI, p. 560. 1838.
(5) *Bull.*, vol. VII, p. 21. 1836. — Voyez aussi : *Preuves des soulèvements de la Scandinavie dans les temps modernes* (*Magaz. for naturvidenskaberne*, Christiania, 2ᵉ sér., 1835, p. 82, 1836 et *Om Lonjardens stigning i Norge*. Mémoire sur les exhaussements de la côte de Norwège, *Ibid.*, 1837).

Digitized by Google

que l'on observe dans les fiords de ce dernier pays, et qui, s'étendant jusqu'à une certaine distance dans les terres, atteignent aujourd'hui une altitude de 182 et même de 243 mètres. Mais l'indépendance des phénomènes sur les côtes orientales et occidentales de la Scandinavie, et l'absence de preuves que, sur ce dernier côté, le soulèvement appartienne réellement à l'époque moderne ou historique, nous engagent à renvoyer l'étude de ces dépôts au chapitre où nous traiterons spécialement des *plages soulevées* (*raised beachs*), si nombreuses sur les côtes de l'ancien comme du nouveau monde. Nous ne nous occuperons donc ici que des soulèvements contemporains, prouvés par des observations directes ou par des documents incontestables de l'industrie humaine.

A l'appui des mouvements inverses qui se manifestent dans le nord et le sud de la Suède, M. Forchhammer (1) a fait connaître que l'île de Saltholm n'a pas sensiblement changé depuis 600 ans, tandis que celle de Bornholm paraît s'être élevée de 1 pied par siècle, et que son soulèvement doit remonter à 1,600 ans. L'auteur signale ensuite, dans le Danemark, le Schleswig et le Holstein, des bancs de coquilles, sur lesquels nous reviendrons, leur contemporanéité ne paraissant pas bien établie ; mais des restes de l'industrie des habitants, recueillis dans les détritus charriés par les eaux sur les îles de la côte occidentale de Schleswig, et à 20 mètres au-dessus de la mer, ne permettent pas de douter qu'elles n'aient été soulevées depuis que ces îles ont commencé à être habitées.

---

(1) Lettre à M. Ch. Lyell, *Sur quelques changements de niveau qui ont eu lieu en Danemark dans la période actuelle* (*Transact. geol. Soc. of London*, vol. VI, p. 157. 1841).

Voyez aussi : *Forhandling. vid det af Skandinav. naturf.*, etc. Travaux de la réunion des naturalistes et médecins scandinaves à Gothenburg en 1839. Gothenburg, 1840, p. 46 et 57. — *Isis*, 1843, p. 207, 212. — *Sur les changements de niveau et les traces d'inondation sur la côte occidentale de Schleswig* (*Tidssk. f. naturvid. de Kroeyer*, vol. II, p. 201). — *Neu. Jahrb.*, 1838, p. 94. — Ch. Kapp, *Sur les bancs de sable de Goodwin, dans la mer du Nord, formés par le soulèvement, comme certaines côtes de la Scandinavie* (*Almanach* de *Kaupp*, 1836, p. 434. — *Neu. Jahrb.*, 1836, p. 222). — Berzélius, *Sur le soulèvement des côtes scandinaves et les roches polies et sillonnées des montagnes du Nord* (*Forhand. vid det af Skandinav. naturf.*, etc. Travaux de la Soc. des nat. scandinaves en 1842. Stockholm, 1843, p. 45-67). — Forchhammer, *Sur les inégalités des oscillations de la Scandinavie* (*Bull.*, vol. IX, p. 100. 1838).

Digitized by Google

La différence de la proportion du soulèvement, suivant les temps et les lieux, a été constatée aussi par M. Almloef (1), qui a recherché les anciennes marques du niveau de la mer sur la côte, entre Haparanda et Sœderkoeping. Quoique la Baltique n'ait pas de marées, elle paraît être soumise à des variations périodiques dans la hauteur de ses eaux. Dans l'été de 1843, suivant M. Beamish (2), un abaissement se serait manifesté d'une manière plus prononcée, et depuis lors elle n'aurait pas repris son ancien niveau. Ce phénomène pourrait être en rapport avec le soulèvement de la côte de la Suède, qui est peu régulier, comme nous l'avons dit, mais qui, d'après le même observateur, serait plus considérable qu'on ne l'avait admis d'abord, malgré l'immobilité de la Norwège depuis les temps historiques. M. Haagen (3) pense que l'abaissement continu des eaux s'étend à tout le périmètre de la Baltique.

Dans son discours à la Société géographique de Londres (4), M. Murchison a signalé l'existence certaine d'une ligne E., O., traversant la Suède sous le parallèle de Solvitsborg et le long de laquelle le sol immobile n'a éprouvé aucune oscillation depuis plusieurs siècles. Au nord de cette ligne, le sol s'est élevé sensiblement dans ces derniers temps et s'élève encore, tandis qu'au sud, dans la Scanie, il s'abaisse, comme l'ont prouvé MM. Nilsson et Lund. Ainsi l'on ne peut se refuser à admettre que le mouvement de la Scandinavie ne ressemble à celui d'une planche ayant au milieu un point d'appui immobile et élevé, et dont l'une des extrémités monte tandis que l'autre descend.

D'après des traditions locales et l'examen attentif des lieux, le célèbre auteur du *Système silurien* est porté à regarder l'île de Gothland comme ayant éprouvé une élévation assez prononcée depuis l'époque actuelle, et même depuis un petit nombre de siècles. Les habitants, à la vérité, attribuent ce changement de niveau relatif à l'abaissement de la mer, et non au soulèvement de l'île, mais on sait combien il est facile dans ce cas de prendre un effet pour l'autre (5).

---

(1) *Kongl. Vatensk. Acad. Handl.* etc. — *L'Institut*, 19 mai 1842.

(2) *Report* 13[th] *Meet. brit. Assoc.*, 1843. — *Amer. Journ.*, vol. XLVII, p. 184.

(3) *Acad. de Berlin*, 1844. — *L'Institut*, 14 août 1844.

(4) *Address to the roy. geogr. Soc. of London*, 1845.

(5) *Quart. Journ. geol. Soc. of London*, nov. 1846, p. 362.

Digitized by Google

M. Murchison rappelle ensuite que M. Nilsson a trouvé, au-dessous de 3 mètres de tourbe, près d'Ystadt en Scanie, un squelette de *Bos urus* ou *primigenius*, dont les cornes étaient profondément ensevelies dans l'argile bleue sous-jacente. Il y avait dans la même couche des ossements de l'Aurochs qui vit encore dans la Lithuanie, de daims et d'autres mammifères terrestres. Un trou qui pénétrait obliquement à travers la première, la seconde et même la troisième vertèbre lombaire de l'Urus a été reconnu par M. Nilsson pour avoir été fait par la pointe d'un javelot d'un ancien aborigène. Ainsi l'homme se trouverait contemporain d'animaux perdus et d'autres qui existent actuellement, et les marais qui renferment ces débris auraient été recouverts de gravier et de sable depuis cette même époque.

M. G. Bischof (1), à la suite de ses recherches sur la cause des volcans, des tremblements de terre et des sources thermales, a essayé d'y rattacher les soulèvements contemporains tels que ceux dont nous nous occupons. M. Berzélius avait cru que les vides produits entre la croûte solide du globe et le noyau liquide, par suite du refroidissement de la masse, pouvaient donner lieu à des plissements et à des courbures de certaines portions de cette croûte qui s'élèverait ainsi d'un côté et s'abaisserait de l'autre; mais le savant chimiste de Bonn fait voir, contrairement à l'opinion de son illustre confrère de Stockholm, que les masses solides peuvent être soulevées très lentement par le même agent qui élève les laves liquides dans les cheminées volcaniques. Cet effet peut se continuer encore après que l'action de la vapeur a cessé, et cela par suite de l'expansion qu'occasionnerait le calorique dégagé de la vapeur pendant sa condensation (*antè*, p. 591). Si l'on suppose, par exemple, que sous la Scandinavie l'écorce de la terre ait une épaisseur de 139,840 pieds et que son expansion par la chaleur soit dans le même rapport que dans la poterie, une augmentation de température d'environ 2°,9 R. pendant 100 ans suffira pour produire une expansion de 4p,26 dans une couche de l'épaisseur supposée, ce qui est la proportion indiquée pour le soulèvement. En outre, le sol de la partie de la Scandinavie qui s'élève est formé par le granite, tandis que celui de la Scanie qui s'abaisse est occupé par les couches crétacées. Le granite de Bornholm, quoique situé en face de la côte

---

(1) *On the natural history of volcanos*, etc. (*Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXVI, n° 5, janvier 1839).

Digitized by Google

de Shonen qui s'abaisse, ne s'élève pas moins que celui du nord. Nous verrons tout à l'heure que l'idée d'attribuer à la différence de conductibilité et de dilatabilité des roches les oscillations du sol avait été déjà proposée plusieurs années auparavant.

Écosse. M. Jardine (1), en creusant le sol à Figgate-Whins, pour le chemin de fer de Leith en Écosse, a trouvé un lit d'Huîtres qui s'étend sur un espace considérable le long du chemin. Les coquilles sont très nombreuses, et il y a des Lucines, des *Cardium*, des Peignes, des Patelles et des *Turbo* identiques à ceux qui vivent sur la côte voisine. Ce banc est à $2^m,42$ au-dessus des plus hautes marées et à 9 mètres au-dessus du niveau où les Huîtres vivent aujourd'hui. Il se retrouve aussi dans beaucoup d'autres endroits aux environs, et l'auteur attribue sa position actuelle à un soulèvement très récent de la côte. La discussion qui eut lieu à ce sujet (2) montre d'ailleurs sous quels points de vue différents le fait peut être envisagé et expliqué.

Irlande. M. Ch. Maclaren (3) a repris fort en détail la description de ces dépôts coquilliers, mais il ne s'est point prononcé sur l'époque précise de leur émersion, et paraît disposé à les regarder comme contemporains de ceux des bords de la Clyde, dont nous parlerons plus tard.

La côte occidentale du havre de Waterford présente, de la Roche du Passage à Woodstone (4), une falaise d'argile et de gravier renfermant un lit subordonné de *Cardium edule* avec d'autres coquilles marines vivantes et des coquilles terrestres. Ce lit, de $0^m,30$ à $1^m,50$ d'épaisseur, s'étend jusqu'à 8 milles dans l'intérieur des terres, et sa plus grande élévation au-dessus de la mer paraît être de 12 mètres. Au nord de Newtown-Head, à l'endroit où la falaise s'élève graduellement, on a trouvé la plus grande partie d'un squelette humain à $1^m,60$ au-dessous de la surface du sol, au milieu du lit coquillier, et à $1^m,50$ au-dessus de la haute mer. Aucun dérangement dans le lit de coquilles autour du squelette n'a pu faire présumer qu'il ait été enterré dans un trou qu'on y aurait pratiqué, et M. Austin admet que le corps a dû être recouvert et enve-

(1) *Bull.*, vol. VI, p. 74. 1834.
(2) *Ibid.*, vol. VI, p. 77.
(3) *Sketch of the geol. of Fife*, etc. Esquisse de la géologie du Fife et du Lothian, in-12. Édimbourg, 1839, p. 228.
(4) Austin, *Observations relative to the elevation*, etc. Observations relatives à l'élévation du sol sur la côte du havre de Waterford (*Proceed. geol. Soc. of London*, vol. III, p. 360).

Digitized by Google

loppé au milieu des coquilles lorsque le banc se formait, et que la plage aura été soulevée ensuite. Il n'est pas même éloigné de penser qu'un mouvement faible et uniforme se produit encore aujourd'hui.

A ce sujet nous rappellerons un fait assez semblable dont nous avons déjà parlé (*antè*, p. 391), celui des buttes de St-Michel en Lherm (Vendée), sur l'âge desquelles il reste encore quelque incertitude. Nous rappellerons également l'opinion qu'a exprimée M. Élie de Beaumont (*antè*, p. 346) sur la probabilité d'un abaissement très lent du sol de la Hollande; abaissement qui seul peut rendre compte des faits qu'on y a constatés depuis l'établissement de l'homme. France. Hollande.

Le grand nom de Goëthe vient se rattacher encore à l'un des faits les plus controversés de nos jours, le changement de niveau des ruines du temple de Jupiter Sérapis, à Pouzzoles. Goëthe (1) pensait que l'emplacement du temple avait été changé en lac par l'encombrement de la partie ouverte du côté de la mer. Les eaux de l'intérieur montèrent jusqu'à la hauteur actuelle des trous de Pholades (17 pieds, 5^{m},52), et ces mollusques pouvaient y vivre parce que les eaux qui avaient filtré à travers les roches volcaniques devaient être plus ou moins saumâtres. Plus tard, en 1752, lorsqu'on construisit le palais de Caserte, les eaux furent détournées pour prendre les matériaux de l'ancien temple qui pouvaient servir à élever le nouvel édifice. Italie. Environs de Naples.

M. Ch. Babbage (2), après un examen fort attentif des lieux, a présenté les conclusions suivantes.

1° Le temple a été bâti au niveau ou presque au niveau de la mer.

2° Le sol s'étant ensuite graduellement abaissé, l'eau de la mer se réunit à l'eau thermale qui renfermait du carbonate de chaux, forma un lac d'eau saumâtre et déposa une incrustation noire que

---

(1) Œuvres d'histoire naturelle de Goëthe; traduct. française par M. Ch. Martins, p. 425. 1837.

(2) *Observations on the temple*, etc. Observations sur le temple de Sérapis, près Pouzzoles, avec des remarques sur certaines causes qui peuvent produire des cycles géologiques d'une plus grande étendue (extrait) (*Proceed. geol. Soc. of London*, vol. II, p. 72, fév. 1834). — Le mémoire complet, avec plan, coupes et élévation, a été publié seulement en 1847 (*Quart. Journ. geol. Soc. of London*, n° 10, p. 186, mai 1847).

Digitized by Google

l'eau saumâtre seule n'aurait pas pu former, de même que l'eau thermale seule n'eût pas permis aux Serpules de s'y développer et n'eût point tracé une ligne de niveau d'eau.

3° Le sol du temple fut alors recouvert, sur une épaisseur de 2m,43, de cendres, de tufs ou de sable qui obstruèrent la communication par laquelle pénétrait l'eau de la mer. L'eau thermale forma un lac et le carbonate de chaux encroûta les colonnes et les murs. Les preuves de ces faits sont la limite inférieure des incrustations qui est irrégulière, tandis que la limite supérieure est une ligne de niveau d'eau, et que l'on en observe plusieurs semblables à des hauteurs différentes. L'eau salée ne produit point d'incrustation de ce genre, et celle de la *Piscina mirabile*, qui est voisine de la mer, donne lieu à un dépôt identique; mais on n'y remarque aucun débris de Serpules ou d'autres corps marins adhérents.

4° Le temple continuant à s'abaisser, son sol fut de nouveau rempli de matériaux solides, et il y eut à cette époque une violente éruption de la mer. Un second dépôt recouvrit l'ancien, ainsi que l'incrustation de carbonate de chaux. Ce qui reste des murs du temple est, en effet, plus élevé du côté de la terre. La limite inférieure de l'espace perforé par les coquilles lithophages est, sur les diverses colonnes, à des distances différentes au-dessous de la marque d'eau la plus élevée, et quelques fragments de colonne sont perforés aux extrémités.

5° Par suite de l'affaissement, les matières accumulées sur le pavé du temple furent submergées et les coquilles s'attachèrent aux colonnes et aux fragments qu'elles percèrent dans toutes les directions, et l'abaissement ne cessa que lorsque le pavé se trouva à 5m,79 au moins au-dessous du niveau de la mer.

6° Enfin, le sol, après être demeuré quelque temps stationnaire, se releva, un nouveau dépôt de sable et de tuf se forma, laissant seulement visible au-dessus la partie supérieure des trois grandes colonnes, et plus tard le pavé se retrouva au niveau de la mer, comme nous le voyons aujourd'hui.

D'autres preuves ont encore été apportées par M. Babbage à l'appui de son opinion. Ainsi, dit-il, les colonnes brisées du temple des Nymphes et de Neptune sont actuellement dans la mer; une ligne de Modioles perforantes et d'autres traces du séjour des eaux marines se voient à 1m,21 au-dessus de son niveau actuel, sur la sixième pierre du pont de Caligula, et de plus sur la douzième, à la hauteur de 3 mètres. Une autre ligne de Modioles

Digitized by Google

se remarque encore dans une falaise opposée à l'île de Nisita, à 9m,75 au-dessus de la mer.

D'après les expériences de M. Totten, l'auteur a calculé une table de la dilatation, en pieds et fractions, pour le granite, le marbre et le grès, depuis 1 pied jusqu'à 500 milles d'épaisseur; dilatation produite par des variations de température de 1°, 20°, 50°, 100° et 500° F. Il a trouvé par cette méthode que si les couches placées sous le temple, se dilatant comme le grès, avaient 5 milles d'épaisseur et recevaient un accroissement de température de 100°, le temple s'élèverait de 25 pieds, changement de niveau plus grand qu'il n'est nécessaire pour rendre compte du phénomène. Or, M. Babbage pense que de semblables variations de température peuvent réellement se manifester dans le voisinage des volcans et en occasionner de correspondantes sur le niveau de la surface du sol. Ainsi il suppose que le temple a été bâti sur une roche à une haute température, que cette roche s'est abaissée en se contractant par le refroidissement, puis qu'à un certain moment, une nouvelle addition de chaleur des volcans environnants a produit une seconde dilatation et replacé le temple à son niveau actuel.

Passant à l'action possible des causes qui élèvent les continents et les chaînes de montagnes, l'auteur établit aussi : 1° que la température augmente à mesure que l'on descend au-dessous de la surface ; 2° que les roches solides se dilatent par la chaleur, tandis que les argiles et quelques autres substances se contractent ; 3° que les diverses roches ont des facultés conductrices de la chaleur, différentes aussi ; 4° que la quantité de chaleur rayonnante de la terre varie à sa surface, suivant que cette dernière est couverte de forêts, de montagnes, de déserts ou d'eau ; 5° que les agents atmosphériques et autres changent également les conditions de la surface du globe. Or, de ces changements actuels de la surface de la terre il résulte que les surfaces d'égale température, dans l'intérieur de sa croûte, doivent continuellement changer de forme et exposer aussi les couches voisines de l'extérieur à des modifications plus ou moins prononcées. Leur expansion et leur contraction occasionneront probablement alors des brisures, et pourront élever des chaînes et même des continents. Ces idées de M. Babbage sont donc en rapport, d'une part, avec celles de M. Herschel (*antè*, p. 583), et de l'autre, avec celles de M. Bischof, qui n'a d'ailleurs exprimé les siennes qu'assez longtemps après (*antè*, p. 591 et 651).

M. Niccolini, qui a publié, en 1834, un mémoire sur les fouilles

Digitized by Google

du temple de Sérapis, a signalé un pavé en mosaïque placé à 16 palmes au-dessous du niveau des eaux stagnantes, d'où il conclut que la mer s'est élevée de cette quantité depuis qu'il a été construit. L'existence de deux pavés d'époques différentes fait voir en outre que de grands changements ont eu lieu avant que le temple ne fût dans l'état et dans la position où nous le trouvons aujourd'hui. L'auteur ne paraît même pas éloigné de croire que le niveau de la Méditerranée s'élèverait encore actuellement.

Quelques personnes avaient pensé que les colonnes perforées provenaient peut-être d'un autre édifice qui aurait été submergé, mais M. Capocci (1) a repoussé cette supposition et démontré son peu de fondement. Ainsi toutes les colonnes, soit debout, soit renversées, sont perforées à la même hauteur et sur une largeur égale. M. Niccolini avait déduit de ses mesures : 1° que le niveau de la mer, avant l'ère vulgaire, lorsque l'on construisit l'ancien pavé en mosaïque trouvé sous celui de marbre, était de 14 palmes et demie plus bas qu'aujourd'hui ; 2° que le niveau de la mer, dan les premiers siècles de notre ère, lorsqu'on reconstruisit les thermes avec le pavé qui existe encore, était de 6 palmes et demie plus bas qu'il ne l'est actuellement ; 3° que vers le milieu de notre ère, ce même niveau était de 22 palmes plus haut que nous ne le voyons; 4° enfin, qu'au commencement de ce siècle, le niveau de la mer était de 2 palmes plus bas qu'aujourd'hui. M. Capocci attribue tous ces effets aux mouvements du sol et non au changement de niveau de la mer ; puis il déduit à son tour, de diverses considérations, que le sol du temple, jusqu'à l'apparition du Monte-Nuovo, s'était abaissé successivement de 22 palmes au-dessous de son niveau actuel, et que, lors de cette même éruption, il fut soulevé au moins de la même quantité, plus des 2 palmes et demie qu'il avait en outre au commencement de ce siècle, ce qui fait en tout environ 24 palmes. Ce soulèvement correspond à l'étendue des 200 pas dont la mer s'éloigna alors sur cette plage, et il s'est manifesté depuis les Baignoli, où l'on a reconstruit les bains antiques, jusqu'aux étuves de Néron, près de la pointe de l'Épitaphe.

Cette supposition se trouve confirmée par la disposition du sol, qui présente dans cet espace tous les caractères d'un ancien rivage sur lequel les flots venaient expirer. L'effet dont on vient de parler, et qui atteint son maximum de Pouzzoles à Lucrin, cesse au-delà

(1) *Bull.*, vol. VIII, p. 180.

Digitized by Google

des points indiqués. Aussi les observations de M. Niccolini, établissant qu'au même endroit le niveau de l'eau s'est élevé de 2 palmes depuis le commencement de ce siècle, prouvent encore, dit M. Capocci, que c'est le sol qui s'est abaissé de cette quantité ; car, si ce changement relatif de niveau provenait de la mer, il aurait dû se manifester à Naples, le long de la rivière de Chioja, dans la rue Marinella et dans le port, ce qui n'a pas été observé. Le savant astronome s'est ensuite occupé à déterminer les lignes de solution de continuité où les portions du sol soulevé se détachent des parties adjacentes.

Peu après, M. B. Hall a fait voir (1) que les colonnes et le pavé du temple penchaient vers la mer ; mais M. L. Pilla n'en est pas moins venu soutenir l'opinion de M. Niccolini et de Breislak (2), en signalant sur le littoral d'anciennes traces de la mer très éloignées les unes des autres, comme au cap Circeo, à Sperlonga, à Gaëta, à Pouzzoles, à Capri, à Sopri dans la Basilicate, dans l'île d'Eolie, etc.

M. Tenore (3) a donné de nouvelles preuves à l'appui du soulèvement du sol, preuves qui ont été aussi combattues par M. L. Pilla (4) ; et de son côté M. Hullmandel (5) a fait voir que le sol du couvent des Capucins se trouve plus bas aujourd'hui qu'il ne l'était dans l'origine relativement au niveau de la mer, et qu'il y avait eu un abaissement depuis sa construction. M. Durini (6) a soutenu également le changement de niveau de la mer, en combattant, par des considérations générales, le soulèvement du temple.

Dans son *Tableau chronologique des mesures prises pour constater les diverses hauteurs atteintes par le niveau de la mer* (7), M. Ant. Niccolini a repris cette question sous un point de vue plus large. Il a constaté, sur d'anciens murs romains adossés à la montagne fendue (*spaccata*) et sur la roche calcaire de la montagne elle-

(1) *Proceed. geol. Soc. of London*, vol. II, p. 114. 1835.
(2) *Il Progresso delle scienze*, etc., n° 38, p. 242. 1838.
(3) *Ibid.*, n° 37.
(4) *Ibid.*, n° 39 p. 105.
(5) *Proceed. geol. Soc. of London*, vol. III, p. 290.
(6) *Il Progresso delle scienze*, etc., nuova ser., n° 44, p. 95. 1838.
(7) *Tavola metrica chronologica*, etc., in-8. Naples, 1839. — *Descrizione*, etc. Description des grands thermes de Pouzzoles, in-4. Naples, 1846. Nous ne connaissons encore que le titre de cet ouvrage.

même près de Gaëte, une multitude de trous de Pholades, jusqu'à 24 palmes au-dessus du niveau actuel de la mer. Les trous se voient dans toute cette hauteur et sont d'autant plus nombreux que l'on s'abaisse davantage vers le rivage. Sur la côte d'Amalfi, il existe également des traces d'un ancien niveau plus élevé que celui d'aujourd'hui.

Vers 1760, les eaux pluviales et thermales étaient stagnantes dans l'enceinte du temple de Sérapis, et un canal pratiqué à cette époque mit le pavé à sec. En 1807 les eaux de la mer n'y arrivaient plus que par les vents violents du S.; 16 ans plus tard, le pavé était couvert par la haute mer, dont l'eau pénétrait par le canal de 1760. Ces inondations augmentèrent, et l'on fut obligé d'établir des lignes de pierres pour parcourir cet espace à pied sec. Le pavé en mosaïque, déjà signalé au-dessous, prouvait que dès l'antiquité on avait relevé le pavé de 8 palmes et demie à cause de l'envahissement de la mer. Les bains antiques de la gorge de Fusaro furent aussi submergés en partie.

Les changements qu'a éprouvés le niveau de la mer, pendant un laps de 19 siècles, depuis la côte d'Amalfi jusqu'au promontoire de Gaëte, peuvent être rapportés à trois périodes distinctes. La première, qui ne commence avec certitude que 80 ans avant notre ère, lors de la construction du pavé en mosaïque, se termine entre le IX^e et le X^e siècle. Pendant ces neuf siècles environ, l'eau s'est élevée de 9^m,60; car 80 ans avant J.-C., le niveau était à 3^m,80 au-dessous de celui d'aujourd'hui, et dans les IX^e et X^e siècles, à 5^m,80 au dessus de ce même niveau. La seconde période s'étend du X^e siècle à la fin du XVII^e (1696). Pendant ces six siècles et demi, le niveau s'est abaissé de 6^m,70. Enfin, la troisième période est celle dans laquelle nous sommes et où les eaux paraissent s'élever à raison de 0^m,65 par siècle. Les observations des hauteurs de la mer de 1822 à 1838 étant prises pour bases, la moyenne annuelle du changement de niveau serait de 7^{mm},23/48 par l'une des méthodes que M. Niccolini a employées, et de 6^{mm},1/5 par l'autre. Mais si l'on prend en considération l'élévation indiquée depuis 142 ans, à la gorge de Fusaro, on obtient pour dernière moyenne 6^{mm},1/2 et une fraction. Ce mouvement est moins rapide que dans la première période où il dépassait 8^{mm}, et que dans la seconde où l'abaissement était de 9^{mm},4/5 par année.

D'après M. Em. Campo-Lonzé, des changements semblables ont eu lieu sur les bords de l'Adriatique. Ainsi, à Venise, des pavés de l'époque romaine, et d'autres du temps de la république, auraient

Digitized by Google

été recouverts par une élévation des eaux presque égale à celle du temple de Sérapis. Plusieurs lignes d'anciens niveaux s'accorderaient avec celles qu'a déterminées M. Niccolini, et les observations continuées pendant longtemps et avec soin ont fait connaître qu'à Venise l'élévation du niveau était de 155 millimètres par siècle, résultat d'après lequel on se règle pour la construction ou la réparation des édifices, des rues, des ponts, etc.

M. Niccolini fait remarquer ensuite qu'il y a 420 milles d'Amalfi à Venise, et que, dans cette étendue, l'intensité du phénomène ayant diminué dans le rapport de 660 à 155, on peut admettre qu'il s'est manifesté jusqu'à 520 milles au moins ; puis, prenant cette distance pour rayon, il trouve que la force a dû agir sur une surface de 800,000 milles carrés, et il en conclut qu'un tel phénomène ne peut être attribué à l'apparition du petit volcan de Monte-Nuovo, dont les matières volcaniques, dit-il, bouchèrent l'orifice en s'accumulant, et durent comprimer le sol environnant par leur poids, au lieu de le soulever.

En admettant comme parfaitement exacts tous les faits que nous venons de citer et beaucoup d'autres relatifs à la ville de Naples, on peut voir qu'ils ne justifient pas complétement la conclusion de l'auteur. Celui-ci confond, en effet, deux phénomènes qui ne sont pas nécessairement liés ou dépendants l'un de l'autre, savoir : un mouvement séculaire très lent, qui s'étendrait d'Amalfi à Venise, suivant une zone ou bande que rien ne prouve d'ailleurs être un espace circulaire, comme il le suppose ; puis un mouvement local, accidentel, produit lors de l'éruption du Monte-Nuovo. Le premier serait analogue à celui qui se manifeste sur les côtes de la Baltique, et le second n'aurait rien que de fort simple en lui-même. Il pourrait d'ailleurs y avoir encore une certaine relation entre eux ; car on peut concevoir que le voisinage des bouches volcaniques de l'Italie méridionale ne soit pas sans influence sur des mouvements du sol, même séculaires. Quant à la preuve fort ingénieuse déduite de l'observation du soleil, vu à des époques et à des heures déterminées à travers la grotte du Pausilippe, et qui constaterait que le sol n'a éprouvé aucun changement, peut-être faudrait-il des expériences minutieuses longtemps continuées et d'une précision micrométrique, pour qu'elle eût toute la valeur que lui attribue M. Niccolini.

M. Russegger (1) a tout à fait adopté l'opinion de ce dernier savant ;

---

(1) *Edinb. new phil. Magaz.*, vol. XXIX, p. 414. 1840.

Digitized by Google

mais M. Tenore (1) s'est attaché d'abord à démontrer que le relèvement du temple de Sérapis n'a point été brusque, puisque les fabriques romaines qui l'entourent n'ont point été renversées, et qu'un mouvement lent d'abaissement et de soulèvement ne rend pas compte non plus de beaucoup de circonstances qu'il a étudiées; puis il est revenu à l'idée que nous avons vue émise par Goëthe, savoir, que, la cavité du temple s'étant remplie par les eaux minérales qui se mêlaient à celles de la mer, les mollusques marins ont pu vivre dans ce lac d'eau saumâtre. Les dépôts coquilliers que l'on observe sur les bords, de même que les trous de Pholades auraient été formés à cette époque. L'écoulement des eaux a pu être effectué ensuite soit de main d'homme, soit par quelque circonstance naturelle.

M. J. Smith (2), qui avait visité les ruines du temple en 1819, et avait trouvé le pavé à 6 pouces au-dessus du niveau de la mer, constata en 1845 que ce pavé était recouvert de 18 pouces d'eau à marée basse, et de 28 1/2 à marée haute. Dans son *Essai comparatif des terrains qui composent le sol de l'Italie* (3), M. L. Pilla paraît avoir adopté l'opinion que les traces d'anciens niveaux que la mer a laissées à Pouzzoles et à Gaëte résultent du soulèvement du sol.

M. P. Savi (4) croit avoir retrouvé sur plusieurs points de la Toscane des preuves d'un soulèvement du sol depuis les temps historiques, soulèvement qui concorderait avec celui qui a relevé le temple de Sérapis; mais nulle part il n'a encore pu constater de traces d'un abaissement antérieur, du moins en consultant les monuments de l'époque romaine. Les grandes portions émergées du tuf récent des environs du Lazzaretto S.-Jacopo, près de Livourne, dans lequel on trouve des fragments de terre cuite, font cependant voir qu'un abaissement a aussi eu lieu sur ce point depuis l'existence de l'homme.

Nous terminerons ce que nous avons à dire sur ce sujet dans la

---

(1) *Intorno ad un passo degli elementi*, etc. Observations relatives à un passage des éléments de géologie de M. Lyell, par rapport au temple de Sérapis (*Rendiconto delle adun.*, etc, *della r. Accad. d. sc. di Napoli*, 1842, n° 6, p. 415).

(2) *On the subsidence*, etc. Sur l'affaissement du sol à Pouzzoles (*The Athenæum*, p. 724. 1845. — *L'Institut*, 1845, p. 435). — *Quart. Journ. geol. Soc. of London*, n° 11, p. 234. 1847.

(3) *Saggio comparativo*, etc. Pise, 1845.

(4) *Memorie per servire allo studio*, etc. Mémoire pour servir à l'étude de la constitution physique de la Toscane. Pise. 1837, 1839.

Digitized by Google

péninsule Italique par l'examen de l'ouvrage de M. Paoli (1), travail consciencieux, rempli de faits intéressants et accompagné de notes où se trouvent disposés chronologiquement tous les phénomènes remarquables qui, depuis le IXe siècle, ont modifié l'état des côtes.

L'auteur déduit d'abord de ses recherches (p. 16) que, depuis dix-sept et peut-être depuis vingt siècles, le sol de Pesaro n'a subi aucun abaissement ni aucun soulèvement, et que l'éloignement apparent de la mer n'est dû qu'à l'accumulation des sables sur le rivage; puis il passe à l'effet de ces ensablements, et enfin (p. 32) aux dépressions ou abaissements réels du sol. Ces derniers effets se sont manifestés à Rimini, à l'ancienne ville submergée de Conca et à Venise. Depuis les temps historiques, l'espace occupé par les marais Pontins se serait abaissé insensiblement, tandis que le cap Circeo se serait élevé comme par un mouvement de bascule, et le temple de Sérapis aurait été soumis à des changements de ce genre (2).

En signalant les points où le sol s'élève, M. Paoli rapporte toutes les observations et toutes les opinions relatives à la presqu'île Scandinave, dont nous nous sommes occupé précédemment, et les considérations auxquelles il s'est livré à ce sujet lui ont permis de tirer les conséquences suivantes:

1° Dans quelques localités, sans que la mer ait éprouvé aucune diminution ni aucun changement de niveau, et sans que le sol se soit élevé, la mer s'est réellement éloignée de la côte, ce qui doit être attribué à son action propre, ou bien à celle des fleuves qui transportent les sédiments et les déposent près de leur embouchure ou sur des plages voisines.

2° Dans d'autres endroits, le sol a éprouvé un abaissement réel, et la mer a occupé une partie plus ou moins considérable du sol émergé, recouvrant ainsi quelquefois des forêts, devenues alors

---

(1) *Del sollevamento e dell' avvallamento*, etc. Du soulèvement et de l'abaissement de quelques terrains, in-8. Pesaro, 1838. — *Isis*, 1841, p. 557.

(2) M. Kloeden (*Ann. de Poggendorff*, vol. XLIII, p. 361. — *Edinb. new phil. Journ.*, vol. XXXI, p. 191. 1841), en réunissant et comparant les observations des anciens auteurs, a constaté que les côtes de la Dalmatie tendaient à s'abaisser constamment vers la Méditerranée; mais l'auteur semble avoir voulu tirer une conséquence trop générale de quelques faits particuliers et purement locaux.

Digitized by Google

sous-marines, et quelquefois des édifices ou autres constructions dues à l'homme.

3° Sur certains points, au contraire, le sol a été soulevé lentement et progressivement, et ce mouvement est tel que, commencé depuis plusieurs siècles, il se continue encore de nos jours. Sur d'autres points, l'effet s'est produit rapidement.

4° Ces effets de soulèvement se manifestent quelquefois dans des endroits peu éloignés de ceux qui, au contraire, éprouvent un abaissement, et parfois aussi non loin de ceux où l'on n'a observé aucun changement de niveau.

5° Dans quelques localités, ce soulèvement, quoique s'opérant sur toute la surface d'un pays, augmente d'intensité dans une direction et diminue dans la direction opposée.

6° Ce soulèvement du sol et des côtes ne peut être attribué à l'abaissement de la mer, parce que, dans certaines localités contiguës, on n'observe aucune altération du niveau des couches, ce qui devrait avoir lieu si la différence observée dans le niveau relatif des eaux et des terres était due à l'abaissement des premières.

7° Ce résultat ne peut être attribué non plus au transport des eaux des régions polaires dans les zones tropicales, puisque le soulèvement du sol s'observe aussi dans les pays méridionaux, et que des dépressions se font remarquer dans la zone nord.

8° On ne peut pas davantage avoir recours à l'opinion de quelques auteurs, opinion basée sur ce que la mer se retire d'un côté et s'avance de l'autre (côtes de l'Adriatique, etc.), parce que dans quelques parties de la côte il n'y a aucune véritable altération de niveau. Sur la côte d'Italie, comme sur celle de la Dalmatie, la mer a gagné quelques portions du sol émergé, ce qui dépend des abaissements locaux de ces mêmes points.

Enfin, dans quelques uns des pays où le sol a été soulevé depuis les temps historiques, on remarque des faits qui prouvent que, pendant la période géologique la plus récente, il y a eu aussi des soulèvements réels.

M. Paoli rappelle ensuite brièvement quelques unes des opinions auxquelles les mouvements de la croûte terrestre ont donné lieu. Ainsi de Saussure les attribuait à l'action de vapeurs aqueuses ou de gaz, ou encore à celle du magnétisme; Wrède, au changement de position de l'axe terrestre; Leslie, à une couche d'air comprimée au-dessous de l'Océan; Maltebrun, à l'infiltration de l'eau dans des couches spongieuses qui, en se congelant, produisaient une expan-

Digitized by Google

sion, et par suite un soulèvement : hypothèses toutes plus ou moins contraires aux faits et aux lois de la physique. M. Keilhau pense que le soulèvement de la Suède est du à des chocs de tremblement de terre, faibles, mais souvent répétés, ce qui s'accorderait avec l'opinion de MM. Lyell et Darwin sur le soulèvement des chaînes de montagnes. M. Greenough rapporte ces effets aux tremblements de terre, et d'autres personnes aux agents volcaniques, ce qui, dans certains cas, paraît être très probable. D'après MM. Cordier, Jonhston et Boué, les forces centrales tendent à rapprocher les parties constituantes de la croûte superficielle, à mesure que le refroidissement contracte et diminue le volume des parties internes du globe; et la position oblique des solutions de continuité, que l'on suppose exister entre les parties solides de l'écorce, fait admettre qu'elles ne peuvent se rapprocher uniformément dans tous les points et qu'il se produit ainsi des changements de niveau relatifs. Quant à M. Paoli, il regarde ces effets comme étant du même ordre que ceux auxquels M. Élie de Beaumont attribue le soulèvement des montagnes.

Espagne.

M. J. Smith signale des mouvements du sol dans la période actuelle autour du rocher de Gibraltar (1).

Asie Mineure.

MM. T.-A.-B. Spratt et Ed. Forbes (2) mentionnent, parmi les changements de l'époque actuelle qu'ils ont observés, un sarcophage antique placé dans l'eau le long de la baie de Macry (l'ancienne Telmissus), et qui est perforé par des animaux marins, jusqu'à un tiers de sa hauteur, indiquant ainsi un abaissement et un relèvement subséquent de la côte, tout à fait comparables au phénomène du temple de Sérapis.

Asie centrale.

Après une dissertation très savante sur le changement du lit de l'Oxus, M. de Humboldt (3) a exprimé l'opinion que des oscillations locales du sol se sont manifestées et se manifestent encore sur les bords immergés ou émergés de la mer Caspienne, et cela non seulement dans la région des salses, des feux et des éruptions de naphte, mais encore plus au S. La déviation du lit de l'Oxus pourrait être attribuée à une cause de ce genre. Il conclut (p. 295):

---

(1) *Quart. Journ. geol. Soc. of London*, vol. II, p. 42.
(2) *Travels in Lycia, Mylias and the Cibyratis*, 2 vol. in-8. Londres, 1846. — Discours ann. de M. L. Horner (*Quart. Journ. geol. Soc. of London*, 17 fév. 1847, vol. IV, p. 45).
(3) *Asie centrale*, vol. II, p. 283.

Digitized by Google

1° Qu'avant les temps historiques, mais à une époque très rapprochée des dernières révolutions du globe, la mer d'Aral peut avoir été comprise dans le bassin de la Caspienne et avoir formé avec celle-ci un tout communiquant d'un côté avec le Pont-Euxin et de l'autre avec la mer Glaciale;

2° Que dans les temps historiques, eurent lieu des phénomènes dont les auteurs anciens nous ont transmis les détails;

3° Que très probablement du temps d'Hécaté et d'Hérodote, comme lors de l'expédition d'Alexandre, l'Aral ne formait qu'un renflement latéral de l'Oxus, et ne communiquait avec la Caspienne que par le bras que le golfe Scytique de cette mer étendait au loin vers l'E., et dans lequel se jettait l'Oxus lui-même;

4° Que, soit par la prédominance de l'évaporation sur les eaux affluentes, soit par des attérissements et des soulèvements, le golfe Scytique s'est resserré de plus en plus, la bifurcation de l'Oxus s'est développée ou est devenue plus manifeste, et depuis le XVI^e^ siècle la branche occidentale ou Caspienne s'est desséchée. Ce qui n'était qu'un renflement appendiculaire, un lac communiquant latéralement avec l'Oxus, est devenu le terme du cours inférieur de ce fleuve, phénomène que l'on voit sur une plus grande échelle à l'E. et à l'E.-N.-E. de l'Aral (1).

Alex. Burnes (2) cependant ne pensait pas que l'Oxus se fût jamais jeté dans la mer Caspienne. Ce que l'on appelle la *Rivière sèche* ne serait, suivant lui, que des restes d'anciens canaux, particulièrement entre Astrabad et Khiva.

Chine. Nous rappellerons ici que deux cataclysmes rapportés par les livres chinois auraient eu lieu sous Fo-hi et Yao, 35 et 24 siècles avant J.-C. Ils sont attribués au déversement soudain de quelque mer intérieure et au soulèvement des montagnes du Hainan et du Chansi, qui aurait produit un barrage momentané du fleuve Jaune (3).

Inde. Le grand Runn, dans la province de Cutch, est, d'après

---

(1) Voyez aussi, pour l'abaissement du niveau de la Caspienne depuis 30 à 40 ans, les baies qui se sont desséchées et les îles qui ont apparu (*Ann.* de *Berghaus*, 1843, 3^e^ sér., vol. I, p. 192-193).

(2) *On the geology*, etc. Sur la géologie des bords de l'Indus, le Caucase indien et la plaine de la Tartarie jusqu'aux côtes de la mer Caspienne (*Transact. geol. Soc. of London*, vol. III, p. 1833-35).

(3) Ed. Biot, *Nouv. ann. des voyages*, août 1839, p. 211. — *Compt. rend.*, p. 790, 1840.

Digitized by Google

M. Grant (1), un espace de 7,000 milles carrés qui semble tenir le milieu entre la terre et la mer. A sec pendant la plus grande partie de l'année, il présente alors une surface plate, sableuse et sans aucune trace de végétation. Lorsque règnent les vents de S.-O., il est couvert d'eau qui y arrive de toutes parts et dont la hauteur, à une époque ancienne, permettait d'y naviguer en tout temps. Le sol paraît avoir été relevé par des soulèvements successifs qui ont brisé les roches sur plusieurs points. Ces soulèvements ont été tantôt graduels, tantôt brusques, lors des tremblements de terre. Dans beaucoup d'endroits on trouve des amas de coquilles marines d'espèces encore vivantes sur la côte. Au-dessus de la surface du Runn, s'élèvent des portions de roches discontinues, placées verticalement comme des murs et atteignant quelquefois jusqu'à 10 mètres de hauteur sur une longueur de 2 milles. Les alternances de coquilles marines et d'eau douce de Sindree résulteraient aussi de soulèvements et d'abaissements successifs combinés avec les cours d'eau et l'action de la mer.

L'île de Chedooba, sur la côte d'Aracan, paraît avoir éprouvé des soulèvements très prononcés dans la période actuelle et même de mémoire d'homme, d'après ce que nous apprend M. Halstead (2).

Il est probable que l'on doit regarder comme des phénomènes de notre époque ce que dit M. Lefebvre (3) des îles de l'archipel Dhalac, qui résulteraient de soulèvements généraux et partiels auxquels se sont joints les travaux des polypiers. Ces mouvements ont occasionné le comblement de plusieurs ports autrefois très profonds, et des rivières qui se rendaient à la mer se perdent aujourd'hui dans des lacs situés sur les deux plages de la mer Rouge et à des niveaux plus bas que le sien. Afrique orientale.

Nous avons déjà parlé, en traitant des dépôts coquilliers modernes (*antè*, p. 394), de ceux que M. Renou regarde comme ayant éprouvé des oscillations et surtout des élévations très sensibles depuis les temps historiques; il serait donc superflu d'y revenir ici, et nous nous bornons à les rappeler. Algérie.

M. Pingel (4) a communiqué quelques nouveaux faits relatifs à Amérique

(1) *Mem. to illustrate*, etc. Mémoire pour accompagner une carte géologique de Cutch (*Transact. geol. Soc. of London*, vol. V, p. 318).

(2) *Géologie de l'île de Chedooba* (*Journ. asiat. Soc. of Bengal*, vol. X, p. 433. 1841).

(3) *Compt. rend.*, vol. XVIII, p. 731. 1844.

(4) *Proceed. geol. Soc. of London*, vol. II, p. 208. 1835. —

Digitized by Google

du Nord. Groenland. l'abaissement graduel d'une partie de la côte occidentale du Groënland. Les premières observations étaient dues à Arctander qui, de 1777 à 1779, avait signalé, dans le Firth de Igalliko, une petite île rocheuse située à une portée de fusil du rivage et qui était presque entièrement submergée dans les marées du printemps. On y voyait encore, à cette époque, les murs d'une ancienne maison de 52 pieds de long sur 30 de large, 5 d'épaisseur et 6 de hauteur. Le docteur Pingel, qui visita l'île un demi-siècle après, trouva tout submergé; les ruines seules s'élevaient au dessus de la mer. Cinq autres points du Groënland que le même voyageur a observés lui ont offert des traces semblables d'abaissement que l'on a également constatées ailleurs. Aussi M. Pingel pense que ces effets se sont produits sur une étendue de près de 9° du N. au S. de ce continent.

Le capitaine Jessen et le lieutenant J. Evans (1) ont mentionné un soulèvement du fond de l'Atlantique, entre 2°,30 lat. S. et 7° lat. N., et entre 20 et 25°,40′ long. O.

États-Unis. M. Jackson (2) a signalé, dans la baie de Lubec (État du Maine), un banc de coquilles marines et des Balanes attachées aux rochers jusqu'à une hauteur de 12 mètres au-dessus de la mer, et il attribue cette circonstance à un soulèvement local de la période actuelle. Sur les côtes des États du Sud des troncs submergés de cyprès prouvent aussi des dépressions contemporaines. M. Lyell (3) décrit autour de Mobile (Alabama) des bancs coquilliers presque exclusivement formés de *Gnatodon cuneatus*, coquille qui habite les eaux saumâtres de l'embouchure de l'Alabama. Ces bancs paraissent être modernes, soit qu'ils aient été élevés par un soulèvement de la côte, soit qu'ils aient été accumulés par l'action combinée des vagues et des vents.

Amérique du Sud. Pérou et Chili. Nous avons déjà vu (*antè*, p. 637) que MM. Caldcleugh, Fitz-Roy (4) et Ch. Darwin admettaient le soulèvement d'une partie de la côte du Chili, à la suite du tremblement de terre de 1835, comme

---

Bull., vol. VII, p. 96. — *Forhandling. vid. det af Skandinav. naturfork.* Travaux de la Société des naturalistes scandinaves à Copenhague en 1840. Copenhague, 1841, p. 353.

(1) *Allg. zeitung d'Augusta*, 1845, vol. XIX, p. 150.

(2) *First report*, etc. Premier rapport sur la géologie de l'État du Maine, in-8, 1837, p. 19.

(3) *Quart. Journ. geol. Soc. of London*, 6 mai 1846, n° 8, p. 405.

(4) *Voyages and adventures of the Beagle*, vol. II, p. 412 et suivantes.

Digitized by Google

M. Meyen après celui de 1822 (1). M. Caldcleugh (2), qui est revenu sur cette question, croit qu'il y a eu plusieurs alternances dans les niveaux relatifs des terres et des eaux. Dans la baie de la Conception, certains rochers sont aujourd'hui plus élevés qu'ils ne l'étaient autrefois, et il en est de même dans celle de Valparaiso, près de Cruz de Reyes. Dans le port de Coquimbo, un des rochers du Pélican était à fleur d'eau, suivant Feuillée, et il est actuellement à 4 mètres au-dessus de la mer. Une autre roche, la Tortoise, du temps de Frézier et de Feuillée, s'élevait de $1^{m},60$ à 2 mètres; aujourd'hui elle dépasse de 3 mètres les hautes marées. D'autres preuves confirmeraient aussi l'élévation du sol pendant le tremblement de terre de 1822 (3).

Don Mario Rivero (4) pense au contraire qu'il n'y a point eu de soulèvement, tandis que M. Darwin (5) estime que le changement de niveau, en 1822, fut d'un peu moins de 1 mètre. Dans un laps de 220 ans l'élévation aurait été de 5 mètres.

Il pense qu'à Lima, depuis l'existence de l'homme, elle n'a pas été moindre de 20 à 28 mètres (p. 451), et les côtes de l'île de S.-Lorenzo, près de Callao, en offriraient aussi des preuves très récentes. Des amas considérables de coquilles identiques à celles du rivage se voient sur une grande étendue. A une faible hauteur, les coquilles sont intactes, mais sur une terrasse de 28 mètres environ elles sont en partie décomposées; et, à une élévation double, un banc mince de calcaire pulvérulent, sans trace de débris organiques, se remarque immédiatement sous la terre végétale. Des objets de l'industrie humaine, trouvés dans la couche coquillière, à 28 mètres au-dessus de la mer, prouvent assez que ce soulèvement est postérieur à l'établissement de l'homme dans cette partie du Pérou. Mais depuis l'arrivée des Espagnols, en 1530, un abaissement se serait manifesté. A Valparaiso, dans un laps de 220 ans, l'élévation de la côte ne paraît pas avoir atteint 6 mètres; elle aurait été au contraire de 3 à 4 mètres dans les 17 années postérieures à 1817. Une partie de cette

(1) *Ann.* de *Berghaus*, 1834, vol. IX, p. 129. — *Reise um Erde*, vol. I, p. 221.

(2) *Proceed. geol. Soc. of London*, vol. II, p. 444. 1837. — Darwin, *Geol. observ. on South America*, p. 38, 39.

(3) *Philos. Transact. roy. Soc. of London*, 1836, p. 21.

(4) *El Araucano*, Journal de l'Amérique du Sud.

(5) *Proceed. geol. Soc. of London*, vol. II, p. 446. 1837. — *Journal and remarks*, p. 411, 451. — *Geol. observations on South America*, p. 27, 35, 49.

quantité peut seulement être attribuée au tremblement de terre de 1822, et le reste serait dû à un soulèvement à peine sensible qui se continuait probablement encore en 1834. A Chiloé, l'élévation a été graduelle et d'environ 1m,30 en 4 ans. A Coquimbo, dans un laps de 150 ans, le soulèvement aurait été aussi à peu près de cette même quantité. Les soulèvements spontanés qui ont accompagné les tremblements de terre, comme à Valparaiso en 1822, à la Conception en 1835, et plus tard dans l'archipel Chonos, étaient généralement connus, mais le soulèvement graduel de la côte du Chili avait à peine été indiqué jusqu'à présent (1).

M. Darwin regarde d'ailleurs ces mouvements d'élévation qui, dans la dernière période et dans la nôtre, se sont étendus depuis la Terre-de-Feu jusqu'à 2480 milles au nord, sur la côte occidentale de l'Amérique du Sud, comme étant en relation directe avec les tremblements de terre qui agitent si fréquemment cette région, de même qu'avec les foyers volcaniques, si nombreux et si souvent en activité sur la crête des Cordillères. Il y aurait de la sorte une connexion intime entre ces trois ordres de phénomènes (2).

Dans l'archipel des Chonos, l'île de Lémus (44°,30′ lat.) aurait été élevée tout à coup de 2m,60 pendant le tremblement de terre de 1839, et les roches auparavant recouvertes par la mer se trouvent aujourd'hui constamment au-dessus des eaux (3).

M. de Tessan (4), qui a étudié les parties basses de la côte dans les environs de Callao, y signale une digue de cailloux roulés de 6 mètres de hauteur. Les cailloux sont d'une forme très régulière, plus ou moins ellipsoïde. Les plus communs sont à trois axes inégaux, puis viennent des ellipsoïdes de révolution et les sphères qui sont les plus rares. L'ellipsoïde serait, après la sphère, le solide qui résiste le mieux aux chocs obliques et aux frottements tangentiels. Ces cailloux proviennent d'une falaise élevée qui règne de Callao à Moro-Solar. On trouve dans cette dernière, dont la hauteur est de 43 mètres, des fragments de poterie qui prouvent que cette partie de la côte a été soulevée depuis l'existence de l'homme. En outre, la terre qui recouvre la falaise est identique à la vase verte qui

---

(1) *Geological observations on South America*, p. 54.

(2) *Geological observations*, etc. Observations géologiques sur l'Amérique du Sud, in-8. Londres, 1846, p. 49, 51 et 246.

(3) *Compt. rend.*, oct. 1838, p. 706.

(4) *Voyage de la frégate* la Vénus. *Partie physique*, vol. V, p. 152, 1844. — Voyez aussi, d'Orbigny, *Voyage dans l'Amer. mérid.*, vol. III, p. 94 et suivantes.

Digitized by Google

constitue le fond de la mer actuelle, au pied de l'escarpement.

Nous avons dit (*antè* p. 637) que M. E. Chevalier (1) n'admettait pas que la côte du Chili, aux environs de Valparaiso, eût été soulevée à la suite des tremblements de 1822 et de 1835; il partage, à cet égard, l'opinion de M. Cuming, contrairement à celle de mistress Graham et de MM. Meyen, Alisson, Gay (2), Caldcleugh, Darwin et Dumoulin.

Un abaissement subit du niveau de la mer a été observé à Montevidéo le 15 et le 16 septembre 1835 (3), et des lignes de soulèvement et d'affaissement ont été mentionnées par M. Kapp, particulièrement dans l'Océanie (4).

Les faits que nous venons de rapporter relativement à l'Amérique du Sud sont peu d'accord avec ceux qu'avait cru remarquer M. Eug. Robert, et qu'il a consignés dans un *Recueil d'observations ou recherches géologiques tendant à prouver, sinon que la mer a baissé et baisse encore de niveau sur tout le globe, notamment dans l'hémisphère nord, du moins que le phénomène de soulèvement, depuis l'époque où il a donné naissance aux grandes chaînes de montagnes, n'a plus guère continué à se manifester que d'une manière lente et graduelle* (5). L'auteur pense, en effet, que les traces de soulèvements récents s'observent particulièrement dans l'hémisphère Nord, à mesure qu'on s'avance vers le pôle, tandis qu'elles sont très rares dans l'hémisphère Sud; qu'elles ont acquis aussi au nord leur plus grande hauteur (195 mètres), et qu'en admettant l'élévation de $1^{m},219$ par siècle, il n'y aurait pas moins de 15,000 à 16,000 ans que le dernier phénomène de soulèvement aurait commencé à se manifester dans la Scandinavie. Cette différence d'intensité dans les deux hémisphères, ajoute-t-il, se trouve en rapport avec la plus grande étendue des terres dans l'hémisphère Nord et la plus grande profondeur des mers australes.

Mais il nous semble que c'est une supposition gratuite que de conclure, de la proportion du mouvement actuel d'un soulèvement donné, le temps qui s'est écoulé depuis le mouvement initial, parce que rien ne prouve qu'il ait été continu, que la proportion ait été constante, et qu'il n'y ait pas eu des arrêts, et même quelquefois

---

(1) *Bull.*, vol. XIV, p. 396, 1843. — *Géologie et minéralogie du Voyage de* la Bonite, in-8. Paris, 1844.
(2) *Ann. des sc. naturelles*, avril 1833.
(3) *Neu. Jahrb.*, 1836, p. 389.
(4) *Ibid.*, 1840, p. 564, 570.
(5) *Compt. rend.*, vol. XIX, p. 265.

Digitized by Google

des mouvements en sens inverse, tantôt sur un point, tantôt sur un autre; en un mot, la permanence et l'uniformité du mouvement n'ont point encore été constatées d'une manière suffisante pour justifier cette hypothèse. Ce que nous venons de dire de l'Amérique du Sud, et ce que nous verrons plus tard de l'Afrique méridionale, sont des résultats également contraires à la conclusion de M. E. Robert.

Quoi qu'il en soit de quelques opinions dissidentes, si l'on réunit à tous les faits que nous venons de rapporter ceux, non moins précis, que MM. Darwin, Couthouy et Dana ont recueillis dans leurs études sur les îles de coraux, et la probabilité de la théorie proposée par le premier de ces savants explorateurs et adoptée par les deux autres, on ne pourra se refuser à admettre l'instabilité actuelle des diverses parties de la croûte terrestre, qui, sous nos yeux encore, changent incessamment de niveau les unes par rapport aux autres. Ces mouvements, il est vrai, se manifestent avec une extrême lenteur; mais leur réalité suffit pour conduire, par une analogie rationnelle, à l'explication de phénomènes du même ordre, qui n'en diffèrent que par l'étendue de l'échelle sur laquelle ils se sont produits; ainsi, dit M. Darwin (1), le temps viendra où les géologues regarderont comme aussi peu probable que le sol puisse avoir conservé le même niveau pendant toute une période géologique, qu'il le serait que l'atmosphère fût restée constamment calme pendant toute une saison.

Ici se termine le tableau que nous avions à présenter des causes et des effets qui, depuis les temps historiques, ont modifié et tendent à modifier aujourd'hui la surface du globe. Malgré l'intérêt qui s'y rattache, leur diversité et leur importance réelle que nous avons essayé de faire ressortir, nous exprimerons encore la pensée que nous avons déjà émise en commençant la description du terrain moderne, que, quel que soit le laps de temps pendant lequel on suppose que ces effets se sont continués, il faudra toujours recourir à des causes plus énergiques et souvent même paroximatiques pour rendre compte de tout ce que vient nous révéler l'étude plus profonde de la terre (2).

---

(1) *Geol. observations on South America*, in-8. Londres, 1846, p. 26.

(2) Voyez, à ce sujet, une note, aussi ingénieuse que parfaitement pensée, due à M. d'Omalius d'Halloy, l'un des savants qui ont le plus concouru aux progrès et à la propagation de la géologie (*Bull.*, 2e sér., vol. IV, p. 531. 1847).

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES.

INTRODUCTION.

Page 1.

PREMIÈRE PARTIE.

CHAPITRE I.

COSMOGONIE.

Hypothèse de M. Aug. Comte, p. 2. — *Id.* de M. Lenglet, 2. — *Id.* de Morin, 3. — *Id.* de M. Angelot, 3. — *Id.* de M. de Boucheporn, 7.

Appendice bibliographique, p. 9.

CHAPITRE II.

GÉOGÉNIE.

Hypothèse de A.-M. Ampère, p. 11. — Théorie de M. de La Bèche, 13. — *Id.* de M. Ladame, 16. — Idées théoriques de MM. Marcel de Serres et D. Saul, 18. — Examen du mémoire de Poisson sur la température de la partie solide du globe, de l'atmosphère et de l'espace, et hypothèse qu'il en déduit, 19. — Objections à cette hypothèse, par M. de la Rive, 23. — *Id.* par M. Ducis, 25. — Recherches sur la géologie physique, par M. W. Hopkins, 25. — Hypothèse de M. Gustave Herschel, 31. — *Id.* de M. le marquis de Roys, 32. — Observations diverses de M. Angelot, 35. — Examen de la théorie de M. de Boucheporn, 37. — Observations de MM. Élie de Beaumont, Fournet et Durocher sur la formation du granite, 38. — Suite de l'examen de la théorie de M. de Boucheporn, 40. — Observations sur cette théorie, 48.

Appendice bibliographique, p. 51.

DEUXIÈME PARTIE.

PHYSIQUE DU GLOBE.

CHAPITRE I.

§ 1. Mesure de la terre, p. 55.
§ 2. Irrégularités de la surface du globe, p. 57.
§ 3. Densité de la terre, p. 61.

CHAPITRE II.

TEMPÉRATURE INTÉRIEURE DU GLOBE.

§ 1. Observations générales, p. 63.
§ 2. Température observée dans les mines, p. 65.
Irlande, p. 65. — Angleterre, 65. — Belgique, 69. — France, 69. — Allemagne, 70. — Amérique du Nord, 70.
§ 3. Température observée dans les puits de mines, p. 71.
Toscane, p. 71. — Europe orientale, 72. — Inde, 73.
§ 4. Température observée dans les puits artésiens, p. 73.
Écosse, p. 73. — France, 73. — Suisse, 75. — Luxembourg, 76. — Prusse rhénane, 77. — Westphalie, Saxe, Wurtemberg, 77. — Autriche, 78. — Conclusion, 78.

CHAPITRE III.

MÉTÉOROLOGIE.

§ 1. Température due a l'action solaire, p. 82.
Suède, p. 82. — Laponie, 82. — Ecosse, 82. — Belgique, 83. — Allemagne, 84. — Sibérie, 84. — Inde, 86 — Amérique du Nord, 88. — Amérique du Sud, 88.
§ 2. Température de l'atmosphère, p. 88.
Appendice bibliographique, p. 99.
§ 3. Température de la mer, p. 99.
§ 4. Limite des neiges perpétuelles, p. 102.
§ 5. Glacières naturelles, p. 108.
Appendice bibliographique, p. 110.
§ 6. Composition de l'atmosphère. p. 110.
Appendice. *De la température et des climats actuels, par rapport aux périodes antérieures*, p. 112.

CHAPITRE IV.

§ 1. Du magnétisme terrestre, p. 119.
§ 2. Hypothèses géologico-magnétiques, p. 127.
Appendice bibliographique, p. 130.
§ 3. Courants électriques dans l'intérieur de la terre, p. 132.
Appendice bibliographique, p. 137.

CHAPITRE V.

GÉOGRAPHIE PHYSIQUE.

§ 1. Division de la surface du globe en terre et en eau, p. 139.
§ 2. Epaisseur connue de l'écorce terrestre, p. 140.

Digitized by Google

§ 3. Niveau des mers, p. 141.
§ 4. Profondeur des mers, p. 142.
§ 5. Composition de l'eau de la mer, p. 143.
§ 6. Des courants marins, p. 146.
§ 7. Mouvements des vagues, p. 146.

CHAPITRE VI.

OROGRAPHIE ET RELIEF DES CONTINENTS.

§ 1. Orographie générale, p. 149.

Considérations générales, Asie, p. 150. — L'Altaï, 151. — L'Oural, 153. — Le Thian-chan, 156. — Le Bolor, 157. — L'Hindou-Kho, 157. — L'Himalaya, 157. — Montagnes de l'Inde, 158. — Hauteur moyenne des continents, 160

§ 2. Orographie particulière, p. 164.

Scandinavie, p. 164. — Les Alpes, 164. — Le Jura, 167. — Les Vosges, 168. — Les Maures et l'Esterel, 168. — Les Pyrénées, 169. — La Sierra-Nevada, 169. — Montagnes de la Turquie d'Europe, 170. — Europe orientale et Asie occidentale, 172. — Amérique du Nord, États-Unis, 173. — Montagnes-Rocheuses, 176. — Amérique du Sud, 177. — Australie, 180.

§ 3. Orographie systématique, p. 183.

§ 4. Orographie appliquée, p. 186.

Appendice bibliographique, p. 189.

CHAPITRE VII.

HYDROGRAPHIE.

P. 193.

Appendice bibliographique, p. 200.

CHAPITRE VIII.

DÉPRESSIONS CONTINENTALES.

Bassin de la mer Caspienne, p. 203. — Bassin de la mer Morte, 205. — Dépressions diverses, 207.

Appendice bibliographique, 208.

TROISIÈME PARTIE.

TERRAIN MODERNE.

Classification, p. 209.

Digitized by Google

CHAPITRE I.

PHÉNOMÈNES DONT L'ORIGINE EST A LA SURFACE DU GLOBE.

PRODUITS ATMOSPHÉRIQUES ET TERRESTRES.

§ 1. Influence de l'atmosphère sur les roches et résultats de leur altération, p. 211.
§ 2. Chutes de poussières, p. 216.
§ 3. Fulgurites, p. 221.
§ 4. Terre végétale, p. 222.
§ 5. Éboulements, glissements et débacles, p. 224.
Suisse, p. 224. — Sicile, 226. — Suède, 226. — Amérique du Nord, 226. — Amérique du Sud, 226. — Inclinaison des talus d'éboulement, 227.
Appendice bibliographique, p. 228.

CHAPITRE II.

PRODUITS AQUEUX ET SOLIDES.

§ 1. De la glace, p. 231.
Cristallisation de la glace, p. 232. — Densité de la glace, 233. — Formation de la glace de fond, 233.
§ 2. Des glaciers, p. 235.
De la formation des glaciers et de leur accroissement, p. 236. — De la structure des glaciers et des bandes colorées, 244. — Du mouvement des glaciers et de ses effets, 249. — De l'extension et du retrait des glaciers, de leur température et de leur abaissement superficiel, 265. — Des aiguilles, 268. — Effets et produits des glaciers : des *tables* et des *moraines ; surfaces polies*, *striées* et *moutonnées*, 268. — Alluvions glaciaires, 272. — Des sillons, 273. — Pierres reparaissant à la surface, 273. — Entonnoirs, 274. — Neiges rouges, 274. — Glaciers des terres arctiques, 275. — Glaciers des terres antarctiques, 281.
Appendice bibliographique, p. 282.
§ 3. Glaces flottantes, p. 284.

CHAPITRE III.

PRODUITS INORGANIQUES LACUSTRES, FLUVIATILES OU D'EAU DOUCE.

§ 1. Dépôts des lacs d'eau douce, p. 289.
Angleterre, p. 289. — France, 289. — Suisse, 289. — Sicile, 290. — Minerai des lacs et des marais. Irlande, 290. — Russie, 290. — Afrique, 291. — Amérique du Nord, 291.
§ 2. Dépôts des lacs salés et des mers intérieures, p. 295.

Crimée, p. 295. — Asie occidentale, bassin Aralo-Caspien, 295. — Arménie, 297. — Asie mineure, 298. — Syrie, 298. — Côte orientale de la Caspienne, 303. — Inde, 304. — Afrique, 304. — Amérique du Nord, 305. — Amérique du Sud, 306.

§ 3. Alluvions des rivières et des torrents, p. 307.

Belgique, France, p. 307. — Suisse, 308. — Bords du Rhin, 309. — Italie, 309. — Russie, 310. — Asie, Inde, 311. — Amérique du Nord, 311.

§ 4. Action des cours d'eau sur les roches, p. 312.

Chutes d'eau ou cataractes, p. 312. – Trous, cuves, *pots*, *marmites de géants* (*pot-holes*), 314. — France, 314. — Suisse, 315 — Asie, Inde, 315. — Amérique du Nord, 316. — Changement de niveau des fleuves et influence du déboisement, 317.

CHAPITRE IV.

PRODUITS ORGANIQUES. — VÉGÉTAUX.

§ 1. Tourbe et marais tourbeux, p. 319.

Irlande, p. 319. — Angleterre, 319. — Hollande, 320. — Belgique, 320. — France, 320. — Danemark, 322. — Russie, 322. — Italie. 323. — Amérique du Nord, 323.

Appendice bibliographique, p. 324.

§ 2. Produits organiques animaux, p. 324.

Marnes coquillières, p. 324. — Infusoires siliceux, 325.

Note bibliographique, p. 328.

CHAPITRE V.

PRODUITS MARINS INORGANIQUES.

§ 1. Affaissements des côtes, p. 329.

§ 2. Alluvions marines et bancs de sable, p. 330.

France, p. 330. — Italie, 331. — Côtes de la mer d'Azof, 332. — Amérique du Sud, 333.

§ 3. Dunes, p. 335.

Irlande, p. 335. — Danemark, 335. — Angleterre, Pays-Bas, France, 336. — Asie, 337. — Afrique méridionale, 337. — Amérique du Nord, 338. — Amérique du Sud, 339.

§ 4. Deltas et alluvions des rivières qui les produisent, p. 338.

Angleterre, p. 338. — Russie, 339. — Asie mineure, 339. — Perse, 340. — Inde, 341 — Afrique, Egypte, 342. — Abyssinie, 344.

§ 5. Cordons littoraux, p. 344.

Pays-Bas, p. 345. — Côtes de l'Adriatique, 347. — Marais Pontins, 348. — Bouches du Rhône, 348. — Delta du Danube, 351. —

Digitized by Google

Bouches du Nil, 351. — Delta du Gange, 354. — Delta du Missisipi, 355.

CHAPITRE VI.

PRODUITS MARINS ORGANIQUES.

§ 1. Iles de coraux ou iles madréporiques, p. 361.

Atolls ou îles Lagouns, p. 365. — Barrières de récifs, 369. — Récifs frangés, 371. — Sur la distribution des récifs de coraux et les conditions favorables à leur accroissement, 371. — Proportion de l'accroissement des polypiers, 374. — Profondeurs auxquelles vivent les polypiers coralligènes, 374. — Théorie de la formation des récifs, 376. — Travaux divers sur les îles de coraux, 380. — Bancs de coraux de la mer Rouge, 385. — Récifs de l'île Bourbon, 388. — Récifs du golfe du Mexique, 388. — Végétation des îles de coraux, 388. — Composition des récifs de coraux, 388. — Distribution générale des polypiers dans les mers actuelles, 389.

§ 2. Dépots coquilliers, p. 389.

Mollusques, Angleterre, p. 390. — France, Italie, 391. — Crimée, 391. — Asie, 391. — Afrique orientale, 392. — Algérie, 392. — Iles Canaries, 393. — Ile de l'Ascension, 394. — Amérique du Nord, 394. — Amérique du Sud, 395.

Foraminifères, polythalames ou rhizopodes et infusoires, 395.

Appendice, *habitat ou station des Mollusques*, p. 396.

QUATRIÈME PARTIE.

PHÉNOMÈNES DONT L'ORIGINE EST AU-DESSOUS DE LA SURFACE DU SOL.

CHAPITRE I.

PRODUITS GAZEUX, BITUMINEUX ET BOUEUX.

Gaz inflammable, lagoni, naphte, pétrole, salses, etc., p. 407.

Italie, p. 407. — Grèce, 411. — Crimée, 411. — Côte occidentale de la mer Caspienne, 413. — Côte orientale de la mer Caspienne, 414. — Perse, 415. — Presqu'île orientale de l'Inde, 416. — Chine, Japon, 418. — Amérique du Nord, 418. — Ile de la Trinité, 419. — Considérations théoriques, 420.

Appendice bibliographique, p. 424.

CHAPITRE II.

EAUX MINÉRALES ET THERMALES.

§ 1 Considérations générales sur les eaux minérales et thermales, p. 427.

Rapport de M. Daubeny. Eaux atmosphériques, p. 428. — Eaux des mers et des lacs, 428. — Température des sources, 430. — Composition des eaux minérales et thermales, 430. — Gaz contenus dans les eaux minérales et thermales, 434. — Classification des sources. Eaux thermales sortant des roches volcaniques, 436. — Sources placées dans le voisinage des montagnes soulevées, 436. — Sources en rapport avec des lignes de failles ou de dislocation, 437. — Origine des sources thermales, 437. — Origine des gaz contenus dans les eaux thermales, 437. — Origine des sources salées, 438. — *Europe occidentale. Rapport de M. Fontan*, 438.

§ 2. Description géographique des eaux minérales et thermales, p. 440.

Islande, p. 440. — Expériences de MM. Jeffrys, Galy-Cazalat, et Donny, 441. *nota*. — Norwège, 448. — Angleterre, 448. — France septentrionale, 448. — France occidentale et centrale, 449. — France orientale, 451. — France méridionale, Pyrénées, 451. — Résumé des eaux minérales et thermales de la France, 454. — Suisse, 455. — Savoie, 456. — Italie septentrionale, 457. — Toscane, royaume de Naples, Sicile, 458. — Allemagne, bords du Rhin et États voisins, 458. — Prusse, 460. — Wurtemberg, Bavière, 461. — Bohême, Styrie, Gallicie, Russie, 462. — Turquie d'Europe, 463. — Grèce, 463. — Asie occidentale, chaîne du Caucase, Palestine, 464. — Perse, Arabie, 464. — Asie centrale, 464. — Inde, 465. — Archipel de l'Inde, 465. — Afrique septentrionale, 465. — Afrique orientale, 467. — Afrique méridionale, 467. — Archipel des Açores, 468. — Amérique du Nord, Groënland, 468. — Etats-Unis, 468. — Etats de New-York, 469. Maryland, Pennsylvanie, Virginie, 470. — Arkansas, 471. — Montagnes-Rocheuses, 472. — Amérique du Sud, Nouvelle-Grenade, 473. — Chili, 474. — Nouvelle-Zélande, 474. — Océanie, 475.

§ 3. Sur l'origine des sources minérales et thermales. p. 476.

Appendice bibliographique, p. 479.

§ 4. Tufs et travertins, p. 479.

Suisse, p. 480. — Italie, 480. — Asie mineure, 481. — Perse, 482. Inde, 482. — Afrique, Algérie, 483. — Amérique du Sud, Brésil, 484.

CHAPITRE III.

PRODUITS VOLCANIQUES.

VOLCANS MODERNES OU BRULANTS.

P. 485.

§ 1. Volcans d'islande, p. 486.

§ 2. Volcans d'italie, p. 500.

Tuf ponceux, p. 500. — Champs-Phlégréens, 502. — Groupe du Vésuve, 504. — La Somma, 504. — Le Vésuve, 506. — Enseve-

lissement d'Herculanum et de Pompeï, 507. — Travaux divers relatifs au Vésuve, 509. — Éruptions du Vésuve, 511. — Chimie et minéralogie du Vésuve, 516. — Iles Lipari, 519. — Ile Melada, 519.

§ 3. VOLCANS DE SICILE, p. 519.

L'Etna, p. 519. — Fractures et soulèvements modernes, 523. — Du noyau de la gibbosité centrale de l'Etna et de son mode de formation, 524. — Travaux divers relatifs à l'Etna, 531. — Eruptions de l'Etna, 532. — Chimie et minéralogie de l'Etna, 533. — Phénomènes divers, 534. — Ile Julia, 534. — Généralités sur les volcans brûlants de l'Italie et de la Sicile, 537.

§ 4. VOLCANS DES ÎLES DE LA GRÈCE, p. 539.

§ 5. VOLCANS D'ASIE ET DES ARCHIPELS QUI EN DÉPENDENT, p 541.

Asie occidentale, p. 541. — Asie centrale, 541 — Iles de l'Océan indien, 542. — Iles de la Sonde, 543. — Iles Moluques, 544. — Iles Philippines, 544. — Iles Mariannes, 545. — Iles du Japon, 545. — Péninsule du Kamtchatka, 547. — Iles Aléoutiennes, 548.

§ 6. VOLCANS DES ÎLES DE L'OCÉAN ATLANTIQUE, p. 548.

Iles Açores, p. 548. — Iles Canaries, 550 — Iles du cap Vert, 553. — Côte occidentale d'Afrique, 554. — Ile de l'Ascension, 555. — Les Antilles, 556.

§ 7. VOLCANS D'AMÉRIQUE, p. 558.

Mexique, p. 558. — Guatémala, 558. — Province de Quito, 559. — Pérou, 562. — Chili, 562.

§ 8. VOLCANS DES ÎLES DU GRAND OCÉAN, p. 564.

Côtes du Chili, p. 564. — Iles Gallapagos, 564. — Iles Sandwich, 567.

§ 9. VOLCANS DES ILES DE L'OCÉANIE ET DU GRAND OCEAN AUSTRAL, p. 574

Océanie, p. 574. — Ile Bourbon, 574. — Nouvelle-Zélande, 575. — Terres Antarctiques, 574.

§ 10. GÉNÉRALITÉS SUR LES VOLCANS, p. 576.

Des Laves, p. 576. — Mouvement des Laves, 577. — Forme et disposition des cratères, 577. — Position et distribution des volcans, 578.

§ 11. ORIGINE DES VOLCANS, p 588.

§ 12. INFUSOIRES VOLCANIQUES, p 596.

APPENDICE BIBLIOGRAPHIQUE, p. 600.

PSEUDO-VOLCANS, p. 601.

CHAPITRE IV.

TREMBLEMENTS DE TERRE.

§ 1. RESULTATS GÉNÉRAUX, p. 603.

§ 2. DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE DES TREMBLEMENTS DE TERRE, p. 612.

Digitized by Google

Islande, p. 612. — Scandinavie, 612. — Danemark, 614. — Iles Britanniques, 614. — France, 615. — Espagne, 616. — Portugal, 616. — Italie, 617. — Savoie, 617. — Suisse, 618. — Bassin du Rhin, 619. — Europe orientale, 620. — Asie occidentale, 622. — Asie centrale, 623. — Asie orientale, 624. — Asie méridionale, Inde, 624. — Afrique, 626. — Les Antilles, 626. — Amérique du Nord, États-Unis, 631. — Amérique du Sud, Colombie, Pérou, 632. — Chili, 633. — Iles de l'océan Pacifique, 638.

§ 3. Hypothèses sur la cause des tremblements de terre, p. 638.

CHAPITRE V.

SOULÈVEMENTS ET ABAISSEMENTS CONTEMPORAINS.

Scandinavie, p. 645. — Écosse, 652. — Irlande, 652. — Hollande, 653. — France, 653. — Italie, 653. — Espagne, 663. — Asie mineure, 663. — Asie centrale, 663. — Chine, 664. — Inde, 664. — Afrique orientale, 665. — Algérie, 665. — Amérique du Nord, Groënland, 665. — États-Unis, 666. — Amérique du Sud, Pérou et Chili, 666.

FIN DU TOME PREMIER.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

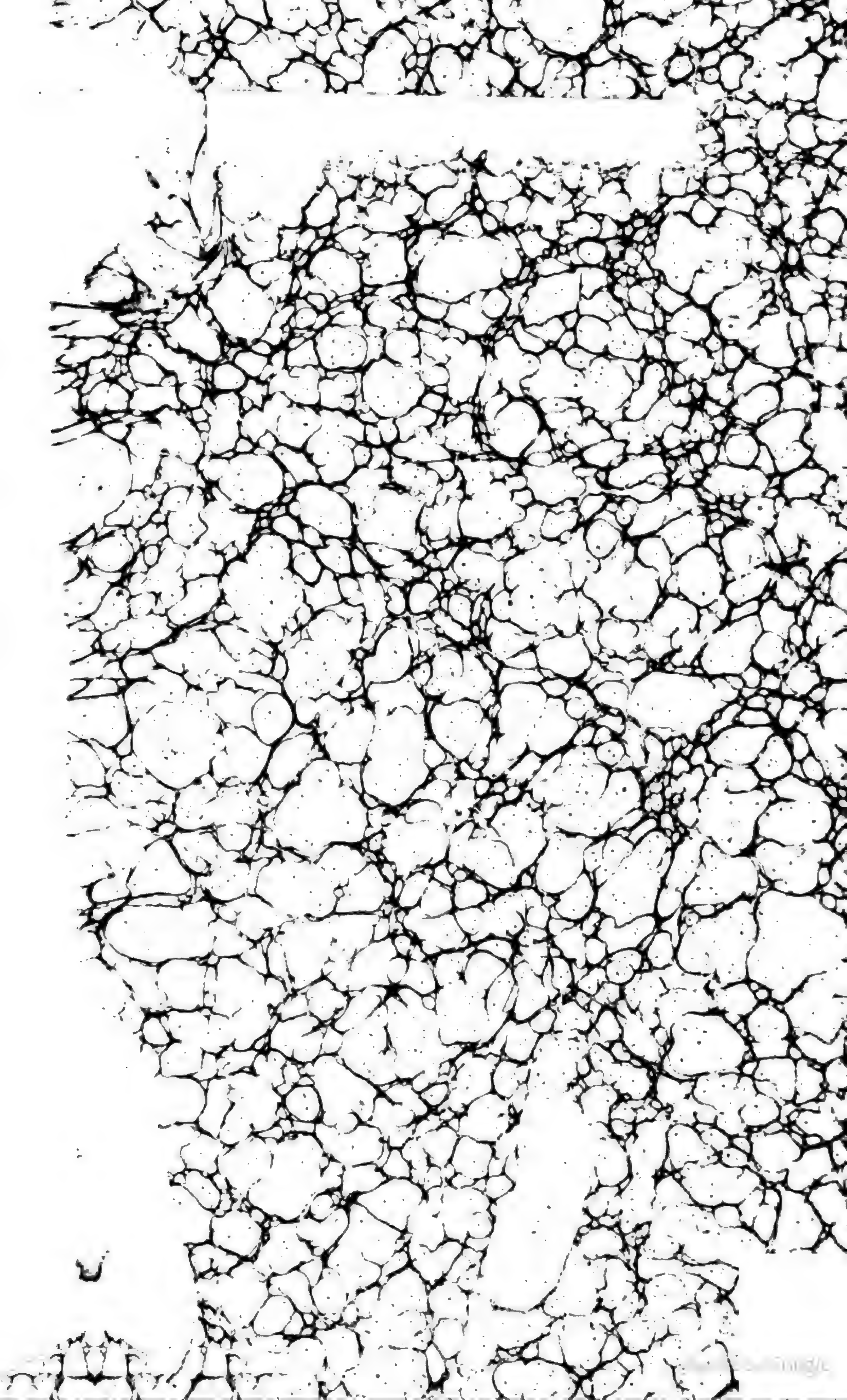
Digitized by Google

ed by Google

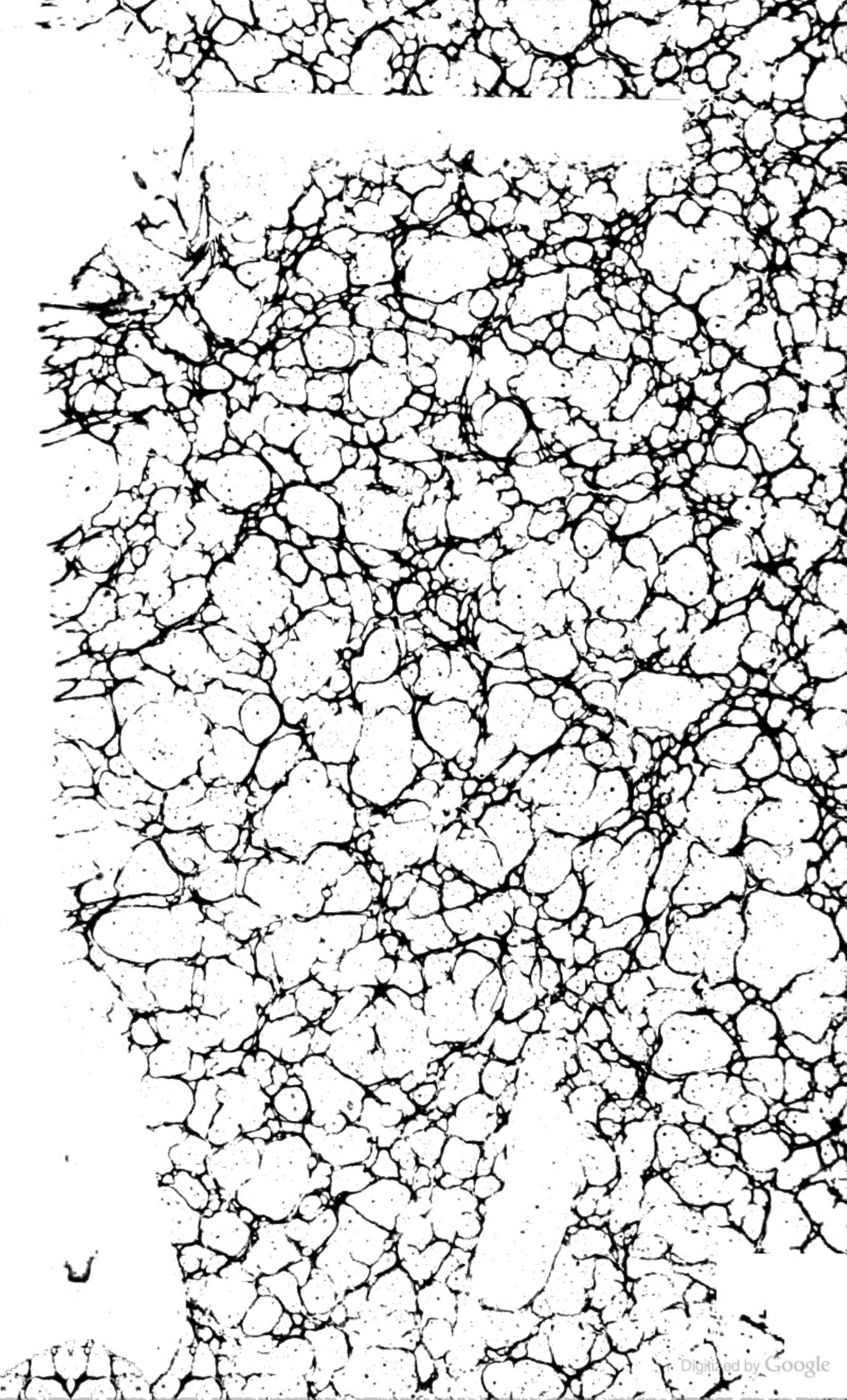
Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

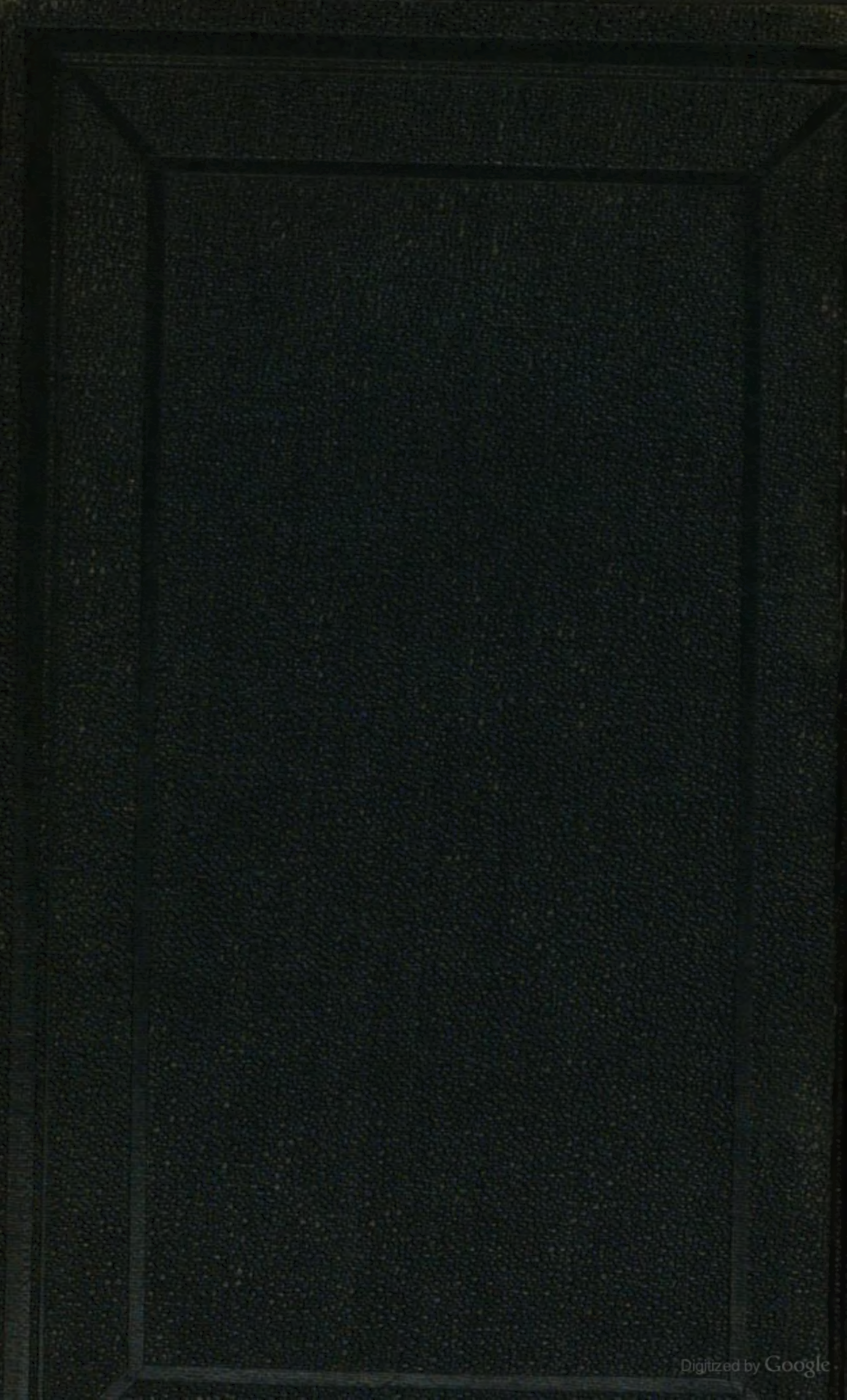


U.C. BERKELEY LIBRARIES
C034718447
Storage
Storage
-699



Digitized by Google

U.C. BERKELEY LIBRARIES
C034718447
Storage
Storage
699



Digitized by Google